



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

**SYSTÉMY PRO AKVIZICI FYZIOLOGICKÝCH DAT ŘIDIČE
PŘI JÍZDĚ**

SYSTEMS FOR ACQUISITION OF PHYSIOLOGICAL DATA DURING DRIVING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Sabína Šimoňáková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Mézl, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Sabína Šimoňáková

ID: 195197

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Systémy pro akvizici fyziologických dat řidiče při jízdě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s principy měření elektrofyziologických veličin, které je možné využít při hodnocení jízdních zkoušek v osobním automobilu. 2) Provedte rešerši dostupných systémů pro vyhodnocení elektrofyziologických dat řidiče. Zaměřte se na technické parametry, kvalitu výstupních signálů, a další. 3) Provedte pilotní měření v laboratoři s vybavením dostupným na UBMI a Ústavu soudního inženýrství (USI) VUT v Brně. Zaměřte se na kvalitu získaných signálů a optimalizaci akvizičních parametrů. 4) Navrhněte protokol pro srovnávací analýzu různých akvizičních systémů fyziologických veličin při testovací jízdě osobním automobilem. 5) Provedte snímání dat z alespoň pěti jízdních zkoušek a jejich následné vyhodnocení. Zaměřte se na kvalitu získaných dat a optimalizaci rozmístění senzorů. 6) Provedte diskuzi získaných výsledků. Stanovte doporučení pro optimální akvizici elektrofyziologických dat z jízdní zkoušky s ohledem na komfort řidiče a kvalitu získaných signálů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HEALEY, J.A. a R.W. PICARD. Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2005, 6(2), 156-166. DOI: 10.1109/TITS.2005.848368. ISSN 1524-9050.

[2] SIONI, Riccardo a Luca CHITTARO. Stress Detection Using Physiological Sensors. Computer. 2015, 48(10), 26-33. DOI: 10.1109/MC.2015.316. ISSN 0018-9162.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 24.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Martin Mézl, Ph.D.

Konzultant:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cieľom bakalárskej práce je porovnať a zhodnotiť dostupné systémy na akvizíciu elektrofyziologických veličín u vodiča počas jazdy. Práca je zameraná na spoľahlivosť, relevantnosť a kvalitu výstupných signálov, ktoré boli namerané u probanda počas palubného merania a u figuranta počas testovacích jazd.

Kľúčové slová

Elektrofyziologické veličiny, biosignály, dostupné systémy, Bitalino, BiosignalsPlux, Thought Technology, elektródy, porovnanie, relevantnosť.

Abstract

The main aim of this bachelor thesis is to compare and evaluate available systems for acquisition of electro physical parameters measured on a driver when driving a car.

The main focus is put on reliability, relevance and quality of output signals, that have been measured on participants during a pretest in laboratory and during road testing.

Keywords

Electro physical parameters, biological signals, available systems, Bitalino, BiosignalsPlux, Thought Technology, electrodes, comparison, relevance.

Bibliografická citace:

ŠIMOŇÁKOVÁ, Sabína. *Systémy pro akvizici fyziologických dat řidiče při jízdě*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/118335>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Martin Mézl.

Prehlásenie

„Prehlasujem, že svoju záverečnú prácu na tému Systémy pro akvizici fyziologických dat řidiče při jízdě som vypracovala samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalšími informačnými zdrojmi, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osob, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **20.5.2019**

.....
podpis autorky

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Martin Mézl, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce, Ústavu Súdneho Inžinierstva, za uskutočnenie testovacej jazdy, kamarátke, ktorá mi pomohla uskutočniť palubné meranie a mojej rodine a priateľovi, ktorí ma neustále podporujú počas môjho štúdia.

V Brne dňa **20.5.2019**

.....
podpis autorky

Obsah

Zoznam obrázkov.....	7
Zoznam tabuliek.....	9
Úvod.....	10
1 Elektrofyziológické veličiny	11
1.1 Elektrokardiografia.....	11
1.1.1 Popis elektrokardiogramu	11
1.1.2 EKG svody.....	12
1.1.3 EKG prístroj.....	14
1.2 Elektromyografia.....	15
1.2.1 EMG prístroj	16
1.3 Respiračný systém	17
1.3.1 Respirácia.....	18
1.3.2 Záznam dýchania	18
1.4 Kožná vodivosť	19
1.4.1 Koža	19
1.4.2 EDA	20
2 Dostupné systémy	21
2.1 BITalino.....	21
2.1.1 Hardware	21
2.1.2 Zhodnotenie.....	23
2.2 Biosignals Plux.....	23
2.3 Thought Technology	24
2.4 BioRadio.....	25
2.5 Arduino.....	27
3 Palubné meranie.....	28
3.1 Porovnanie BITalina a Biosignals Plux za pokojných podmienok probanda	28
3.2 Vyhodnotenie.....	33
4 Protokol pre testovaciu jazdu	34
4.1 Špecifikácia	34
4.2 Umiestnenie elektród.....	35
5 Testovacie jazdy.....	37
5.1 Prvá jazda	37
5.2 Druhá jazda.....	41
5.3 Tretia jazda	43
6 Výsledky MERania	48
6.1 Spracovanie a vyhodnotenie signálu EKG	48
6.2 Spracovanie a vyhodnotenie signálu EMG.....	50
6.3 Spracovanie a vyhodnotenie signálu EDA	52

6.4	Spracovanie a vyhodnotenie záznamu respirácie	54
7	DISKUSIA	56
	Záver	58
	Literatúra.....	60
	Zoznam príloh	62

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1: Einthovenov trojuholník (vľavo), zobrazenie zapojenia končatinových svodov (vpravo), prevzaté z [1].....	12
Obr. 1.2: Zapojenie unipolárnych svodov podľa Goldbergera, prevzaté z [1].....	13
Obr. 1.3: Rozloženie Wilsonových unipolárnych hrudných svodov (naľavo), priečny rez hrudníkom a rozloženie svodov (napravo), prevzaté z [1].....	14
Obr. 1.4: Základné rozmiestnenie elektród u testovania senzorickeho nervoveho vedenia, prevzaté z [3].....	17
Obr. 1.5: Znázornenie hrudníka pri inspirácií a expirácií pri použití respiračných pásov, prevzaté z [4].....	19
Obr. 1.6: Príklad EDA signálu SCR (vyznačené červeným „o“), prevzaté z [6].....	20
Obr. 2.1: Biosignals Plux porty, prevzaté z [8].....	23
Obr. 2.2: Kóder ProComp5 Infiniti(vľavo), Senzor(vstrede), triódová elektroda so senzorom(vpravo), prevzaté z [9].....	25
Obr. 2.3: Funkcia vstupov a tlačidiel u BioRadio, prevzaté z [10].....	26
Obr. 3.1: Záznam jednokanálového EKG pomocou BITalina(hore), záznam jednokanálového EKG pomocou BiosignalsPlux(dole).....	29
Obr. 3.2: Záznam EMG pomocou BITalina(hore), záznam EMG pomocou BiosignalsPlux(dole).....	30
Obr. 3.3: Záznam EDA pomocou Bitalina(hore), záznam EDA pomocouBioSignalsPlux(dole).....	31
Obr. 3.4: Záznam Respirácie pomocou BITalina(hore), záznam Respirácie pomocou BiosignalsPlux(dole).....	32
Obr. 3.5: Záznam respirácie pomocou Bitalina, ovplyvnený pohybom rúk.....	33
Obr. 5.1: Záznam EKG pomocou Bitalina(vyššie), záznam EKG pomocou BioSignalsPlux(nižšie) – prvá jazda(mesto).....	39
Obr. 5.2: Záznam EMG pomocou BioSignalsPlux – prvá jazda(mesto).....	39
Obr. 5.3: Poškodený záznam EDA pomocou Bitalina(vyššie), kvalitný záznam EDA pomocou BioSignalsPlux(nižšie) – prvá jazda(mesto).....	40
Obr. 5.4: Záznam respirácie pomocou BioSignalsPlux – prvá jazda(mesto).....	41
Obr. 5.5: Záznam EKG pomocou Bitalina na d'ialnici(vyššie), záznam EKG pomocou Bitalina v Buchlovských vrchoch(nižšie) – druhá jazda.....	42
Obr. 5.6: Záznam EMG pomocou Bitalina na d'ialnici(vyššie), záznam EMG pomocou Bitalina na Buchlovských vrchoch(nižšie) – druhá jazda.....	43
Obr. 5.7: Záznam EKG pomocou BioSignalsPlux(vyššie), záznam EKG pomocou Though Technology(nižšie) – tretia jazda.....	44
Obr. 5.8: Záznam EMG pomocou BioSignalsPlux – tretia jazda.....	45

Obr. 5.9: Záznam EDA pomocou BioSignalsPlux(vyššie), záznam EDA pomocou Though Technology(nižšie) – tretia jazda.....	46
Obr. 5.10: Záznam respirácie pomocou BioSignalsPlux(vyššie), záznam respirácie pomocou Though Technology(nižšie) – tretia jazda.....	47
Obr. 6.1: Záznamy s detekovanými R vlnami pomocou Bitalina(hore), pomocou BioSignalsPlux(vstrede) a pomocou ThoughTechnology(dole).....	49
Obr. 6.2: Obálka signálu EMG nasnímaného pomocou Bitalina(prvý a posledný) a pomocou BioSignalsPlux(vstrede).....	52
Obr. 6.3: Záznam EDA s nadetekovanou hodnotou minima a maxima, pomocou BioSignalsPlux(hore) a pomocou Though Technology(dole).....	53
Obr. 6.4: Záznam respirácie s nadetekovanými maximálnymi a minimálnymi hodnotami pomocou BioSignalsPlux(hore), pomocou Thought Technology(dole).....	55

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2.1: Hlavné špecifikácie BITalina, prevzaté z [7].....	21
Tab. 2.2: Charakteristika jednotlivých senzorových blokov využitých pri BITaline, prevzaté z [7].....	22
Tab. 2.3: Hlavné špecifikácie BioRadia, prevzaté z [10].....	26

ÚVOD

Táto bakalárska práca sa venuje popisu rozdielov medzi akvizičnými systémami, ktorými je umožnené snímanie biosignálov u šoféra počas jazdy. S rastúcou populáciou narastá aj počet automobilov a s tým súvisí aj zväčšený výskyt autonehôd. Moderné automobily majú v sebe implementované zariadenia, ktoré dokážu zaznamenávať aktivitu vodiča a kontrolovať či nedochádza k poklesu pozornosti a mikrosnútku. V závislosti na cene, sú na trhu dostupné rôzne systémy, ktoré dokážu detekovať únavu a následne alarmujúcim hlásením upozorniť vodiča. Bakalárska práca sa zaoberá tromi rôznymi systémami, ktoré disponujú snímaním biosignálov.

V prvej kapitole sú popísané elektrofyziologické veličiny, ktoré je možné merať u vodiča počas jazdy. Popisujú sa funkcie orgánov, u ktorých meriame elektrickú alebo fyziologickú aktivitu, popisujú sa namerané krivky a následne sa zoznamujeme s prístrojmi, schopné túto aktivitu zaznamenať.

V druhej kapitole sa preberajú dostupné systémy na akvizíciu fyziologických dát ako je elektrická srdečná aktivita, elektrická svalová aktivita, ektodermálna aktivita a respirácia. Charakterizujú sa softvéry a hardvery systémov BITalino, Biosignals Flux, Though Technology, BioRadio a Arduino, ich parametre a špecifikácie.

Obsahom tretej kapitoly je vyhodnotenie palubného merania, počas ktorého boli na probandke merané signály dvomi systémami, a to Bitalinom a BioSignalsFlux. Súčasťou merania bolo vyvolanie stresovej situácie u probandky a následné porovnanie s meraním za kludových podmienok. Podobne bola porovnaná kvalita výstupných signálov a zhodnotený rozdiel medzi oboma akvizičnými systémami.

Štvrtá kapitola sa zaoberá navrhnutým protokolom pre testovacie jazdy, ktoré sú prebrané v piatej kapitole a namerané signály, ktoré boli spracované v prostredí Matlab, sú vyhodnotený v šiestej kapitole.

1 ELEKTROFYZIOLOGICKÉ VELIČINY

1.1 Elektrokardiografia

Elektrokardiografia, skráteno EKG, je základnou metódou vyšetrenia srdcovej aktivity. Zhodnotenie, či je aktivita srdca normálna, alebo pri nej dochádza k abnormalitám, sa získava z elektrokardiogramu, čo je krivka, ktorá vzniká záznamom časovej zmeny elektrického potenciálu, vzniknutého srdcovou aktivitou.

Primárnym miestom vzniku vzruchu v srdci je sinoatriálny uzol (SA), ktorý tvoria pacemakerové srdcové bunky. Tieto bunky vytvárajú pravidelné vzruchy s frekvenciou 60-100/min. Vzruch sa ďalej šíri srdcovou svalovinou do atrioventrikulárneho uzla (AV), ktorý prevádza vzruch z predsiení do komôr. Vzruch sa následne prenáša cez Hisov zväzok a delí sa na pravé a ľavé Tawarové ramienko. Ľavé Tawarové ramienko sa ďalej delí na pravý a ľavý fascikel.

V jednom cykle sa strieda srdečná kontrakcia (systola) a relaxácia (diastola).

1.1.1 Popis elektrokardiogramu

Elektrická srdečná aktivita, ktorá je tvorená prevažne myokardiálnymi bunkami je v EKG zobrazená kmitmi a vlnami.

Aktivita pacemakerových buniek je v EKG nepatrná. Prvá vlna v EKG krivke, nazývaná P vlna, predstavuje depolarizáciu predsiení. Prvá časť P vlny, ktorá je zobrazená v elektrokardiograme ako nárast amplitúdy, reprezentuje depolarizáciu pravej predsienie a pokles P vlny znázorňuje depolarizáciu ľavej predsienie. Medzera medzi P vlnou a nasledujúcim QRS komplexom označuje izoelektrický úsek PQ, ktorý znázorňuje spomalenie vedenia vzruchu v AV uzle, čo predstavuje význam pre oddelenie depolarizácie predsiení od komôr. [1]

Komplex QRS predstavuje postupnú depolarizáciu komôr. V priebehu QRS komplexu prebieha repolarizácia predsiení, ktorá nie je na krivke pozorovateľná. Úsek medzi QRS komplexom a vlnou T zodpovedá izoelektrickej línii.

Vlna T naznačuje komplexnú repolarizáciu srdečných komôr. Dôležité činitele pri hodnotení funkčnosti srdca sú doby trvania jednotlivých úsekov.

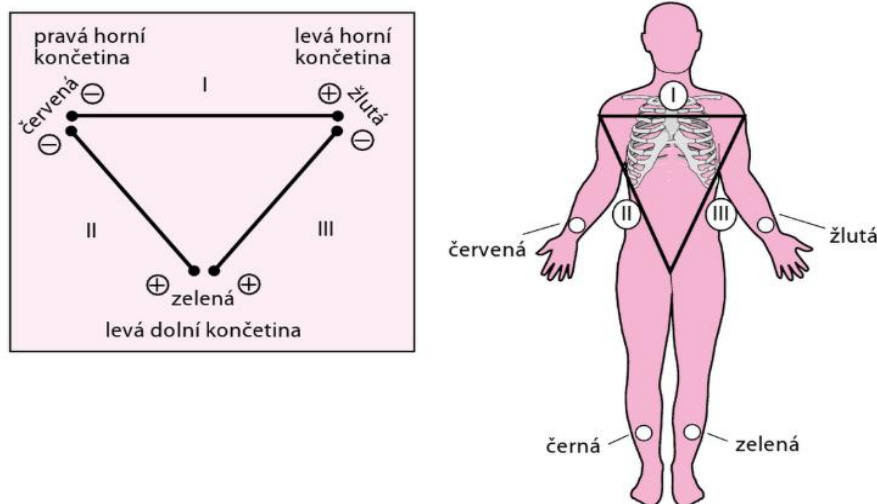
Doba trvania vlny P je od 80-100 ms, segmentu PQ 80-100 ms a interval od začiatku vlny P po začiatok Q by nemal byť väčší než 200 ms. Komplex QRS má dobu trvania takú istú ako vlna P, čiže 80-100 ms, úsek od začiatku Q po koniec vlny T je závislý od srdečnej frekvencie a pri normálnej frekvencii 72/min trvá približne 350-400 ms. Ak pri jednej

srdečnej akcii rátame s vyššie uvedenými hodnotami, tak úsek R-R (úsek od začiatku prvej vlny P po ďalšiu vlnu P) trvá 790-840 ms.

1.1.2 EKG svody

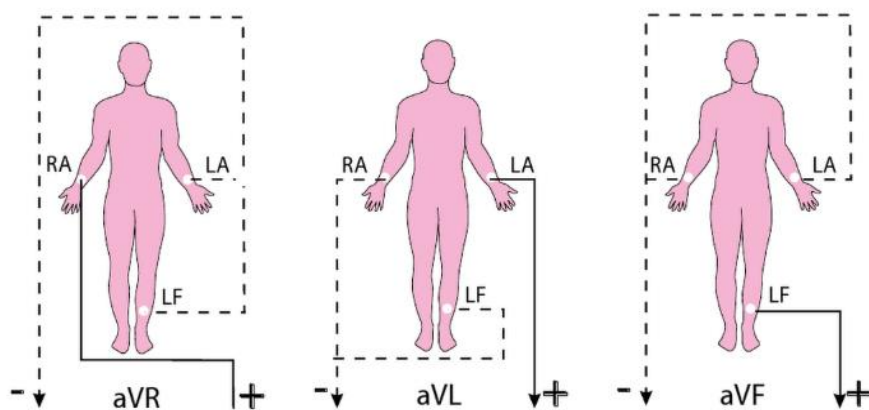
Na zachytenie elektrickej srdcovej aktivity sa používajú elektródy zapojené do svodov. Delíme ich na unipolárne a bipolárne. Ak zapojíme dve elektródy dokopy cez dostatočne veľký odpor dostaneme miesto s nulovým potenciálom, tzv. Wilsonovu svorku. Ak meriame napätie na jednej elektróde oproti tejto svorke, jedná sa o unipolárny svod. Napätie merané medzi dvoma elektródami označuje svod bipolárny.

Ďalej sa svody delia podľa umiestnenia snímacích elektród na končatinové a hrudné. Najčastejšie sa používajú bipolárne končatinové svody. Elektródy sa pripevňujú na pravú a ľavú ruku v oblasti zápästia a na ľavé predkolenie. Elektróda na pravom predkolení slúži na pripojenie zemniacej svorky. Svod I označuje pozitívnu výchylku smerujúcu od pravého zápästia po ľavé zápästie. Svod II označuje pozitívnu výchylku od pravého zápästia po ľavé predkolenie a Svod III pozitívnu výchylku od ľavého zápästia po ľavé predkolenie. Takéto usporiadanie elektród vytvára Einthovenov trojuholník pomenovaný podľa svojho objaviteľa. Po zobrazení štandardných končatinových svodov v rovnostrannom trojuholníku (so srdcom v strede), vykreslením veľkosti kmitov R v príslušnom svode na jednotlivé strany a sčítaním vektorov (I. a II. Svod) dostaneme elektrický vektor, srdečnú osu. [2]



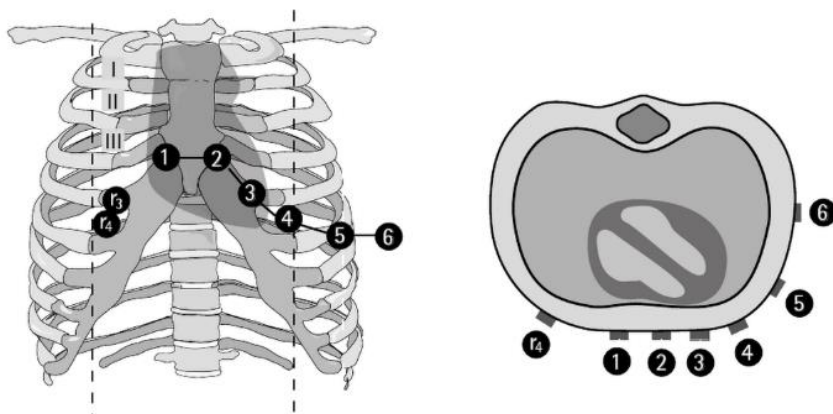
Obr. 1.1: Einthovenov trojuholník (vľavo), zobrazenie zapojenia končatinových svodov (vpravo), prevzaté z [2].

Unipolárne končatinové svody značené VR, VL a VF vznikajú iným prepojením. Jeden zo svodov sa určí ako pozitívny a ostatné sú negatívne. Keďže výchylky v unipolárnych končatinových svodoch sú pomerne nízke, používajú sa tzv. zosilnené (augmentované) unipolárne končatinové svody, ktoré sú pomenované aVR, aVL a aVF. Vznikajú odpojením jednej aktívnej elektródy z Wilsonovej svorky. Svod aVR označuje negatívnu výchylku vedenú od pozitívnej pravej končatiny k ostatným negatívnym. Svod aVL označuje negatívnu výchylku vedenú od pozitívnej ľavej končatiny k ostatným končatinám negatívnym a podobne aj Svod aVF označuje negatívnu výchylku vedenú od pozitívnych dolných končatín k negatívnym horným končatinám. Podobne ako bipolárne končatinové svody nesú názov po svojom objaviteľovi, tak aj unipolárne končatinové svody sú pomenované podľa Goldbergera.



Obr. 1.2: Zapojenie unipolárnych svodov podľa Goldbergera, prevzaté z [2].

Elektródy u hrudných unipolárnych svodoch sa umiestňujú horizontálne na hrudnú stenu v oblasti srdca od pravého okraja sternu až po ľavú podpažnú jamku. Svody končatinové zaznamenávajú elektrické podnety smerom zhora dole a zprava doľava, unipolárne hrudné svody posudzujú elektrické podnety, ktoré sa pohybujú dopredu a dozadu. Štandardný počet hrudných svodov je 6 a sú označené V1 – V6.



Obr. 1.3: Rozloženie Wilsonových unipolárnych hrudných svodov (naľavo), priečny rez hrudníkom a rozloženie svodov (napravo), prevzaté z [2].

1.1.3 EKG prístroj

Elektrokardiografy sa podľa cieľa vyšetrenia vyrábajú v rôznych prevedeniach.

Najjednoduchším variantom je jednokanálové EKG. Kanál znamená reťazec schopný preniesť záznam jedného signálu. Tieto kardiografy zabezpečujú rýchly záznam EKG, ako pre prvú pomoc tak aj v ťažkom terene, tým, že umožňujú pripojiť pacienta k prístroju len pomocou jediného kábla. Nevýhodou je, že tento prístroj nedokáže zachytiť arytmiu, takže pre komplexné vyšetrenie je nutné použiť 12 svodové EKG.

Klasické 12 svodové EKG poskytuje nepretržitý záznam elektrickej aktivity srdca. Je zložené z desiatich elektród, ktoré sa umiestňujú na telo pacienta. EKG prístroj používa na generovanie EKG krivky 9 elektród, pretože jedna zastáva funkciu uzemnenia. Pri zapojení sa používajú štandardné končatinové svody (I, II, III, aVR, aVL, aVF), ktoré poskytujú informáciu o vertikálnej rovine a Wilsonové unipolárne hrudné svody (V1 – V6) poskytujúce informáciu o rovine predozadnej a zadoprednej.[1]

Holterovské monitorovanie je dlhodobý záznam EKG, ktorý poskytuje informácie o srdcovej aktivite bez nutnosti hospitalizácie. Dĺžka jedného merania je 24 – 48 hod, poprípade je upravená podľa potreby. Prístroj využíva buď jeden svod, častejšie ale dva svody. [1]

Existujú rôzne varianty EKG prístrojov, napríklad trojelektrodový systém, ktorý pozostáva z pozitívnej, negatívnej a uzemňovacej elektródy. Jemu podobný je šesťelektrodový systém.

Na trhu su dostupné aj tzv. mobilné systémy, ktoré zachytávajú elektrickú aktivitu srdca bez potreby použitia napájacieho kábla, kontaktných gélov, či už dokonca bez pomoci zdravotníkov.

Známym zariadením je CardioSense, ktorý funguje ako samostatná jednotka, alebo je možné ho pripojiť k iným zariadeniam, ako je smartfón, osobná váha, dokonca aj volant. Tento prístroj je vďaka dvom kontaktným doštičkám, na ktoré sa prikladajú ruky alebo nohy, schopný vygenerovať EKG signál, merať rýchlosť arteriálnej pulznej vlny a vďaka oneskoreniu medzi EKG signálom a momentom, kedy vlna dosiahne ruky alebo nohy je možné analyzovať mechanickú stránku srdca a elasticitu tepien.

Prístroj Omron Heartscan je ďalším cenovo dostupným zariadením na meranie srdcovej aktivity v pohodlí domova. Konštrukčne malé zariadenie umožňuje pomocou elektród, ktoré sú zasadené na bočnej strane prístroja meranie EKG krivky, ktorá je následne uložená v pamäti prístroja pre odbornú analýzu. Pravý ukazovák položíme na pravý bok prístroja a ľavý bok, kde sú umiestnené hrudné elektródy priložíme asi 5 cm vpravo od hrotu hrudnej kosti. Systém nahráva 30 sekundový záznam.

1.2 Elektromyografia

Elektromyografia, EMG, je metóda umožňujúca registráciu kontrakcie svalov. Je založená na meraní a registrácii činnostných potenciálov priečne pruhovaných kostrových svalov. Odpoveďou na podráždenie alfa motoneurónov je sťah svalových vlákien, inervovaných týmto motoneurónom. Jedna kontrakcia svalu vyvolaná jedným podnetom sa nazýva svalové trhnutie.

EMG záznam má časť vzostupnú, zodpovedajúcu postupnému zkracovaniu svalu, vrchol a časť zostupnú, zodpovedajúcu postupnému ochabnutiu svalu. Trvanie vzostupnej a zostupnej časti krivky sa líši pri rôznych svaloch a pri tom istom svalu sa mení v závislosti od stavu svalového tkaniva, alebo od vonkajších faktoroch.

Stupňovanie sily sťahu kostrového svalstva sa koná dvoma spôsobmi. Priestorová sumácia predstavuje tzv. nábor väčšieho počtu motorických jednotiek, alfa motoneurónov a tomu zodpovedajúcich svalových vlákien. Časová sumácia spočíva v skracovaní intervalov medzi podráždením, teda vo zvyšovaní frekvencie akčných potenciálov. Jednotlivé podnety vedú k trhnutiu svalového vlákna, ale nevedú k maximálnemu možnému skráteniu. Ak v priebehu trhnutia príde ďalší podnet, prebieha ďalšia aktivácia v dobe, kedy svalové vlákno nestačilo dostatočne zrelaxovať na pokojnú dĺžku. Pri superpozícii nastupuje druhý podnet v priebehu ochabovania vlákna (prejaví sa ako zostupná časť krivky). Pri sumácii sa objavuje skôr a to v období vlastného skracovania (na vzostupnej časti krivky).

Ak sa dráždi séria rytmických podnetov, výsledkom je trvalý – tetanický sťah. Pri nižších frekvenciách dráždenia, smerujúcich k superpozícií, vzniká neúplný – vlnitý tetanus. Naopak pri vyšších frekvenciách dráždenia, vedúcich k sumácií, vzniká úplný – hladký tetanus.

V klinickej elektrofyziológii sa pre stimuláciu nervov používajú stimulátory, generujúce pravouhlé elektrické pulzy rôznych dĺžok - najčastejšie od 0,1 po 1 ms, pričom intenzita stimulu je nastavená v mA.

1.2.1 EMG prístroj

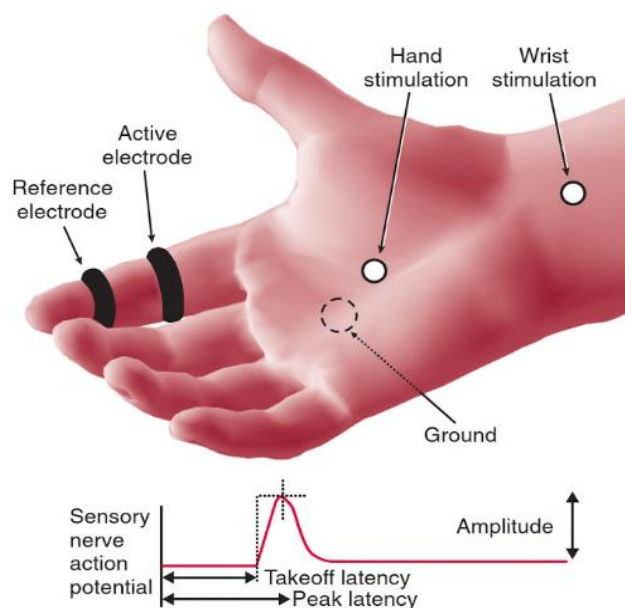
Snímacia elektróda, ktorá zachytáva podnety z kostrového svalu je zložená z 2 pólov, negatívneho (katóda) a pozitívneho (anóda). K depolarizácii dochádza pod katódou, pod anódou naopak k hyperpolarizácii. Pri monopólárnej stimulácii je katóda umiestnená nad nervom a anóda v určitej vzdialenosti od nervu. Pri bipolárnej stimulácii sú oba póly uložené pozdĺž nervu asi 2-3 cm od seba, pričom katóda je bližšie k registrovanému svalu. Aj keď sa táto metóda zaoberá prevažne elektrickou odozvou svalu na daný podnet, tak zahŕňa aj vyšetrenie periférnych nervov, najčastejšie meranie rýchlosti vedenia ich vlákien.

Trh ponúka rôzne varianty EMG prístrojov, ktoré merajú elektrickú aktivitu svalstva a prenášajú ju do grafu. Flexbot je prenosný senzor na meranie nízkoenergetickej EMG. Umožňuje užívateľovi merať potenciál neurálnej aktivácie skoro zo všetkých svalov. Systém pozostáva z mobilnej aplikácie a klinickej prístrojovej dosky. Toto zariadenie je predurčené pre pacientov, ktorí trpia neurosvalovou poruchou následkom mrtvice, mozbovej obrny alebo následkom poranenia miechy. Tento prístroj je prispôsobený na domáce použitie.

1.2..1 Analytická EMG

Funkčnosť nervového vedenia je skúmaná pomocou elektród, ktoré sú umiestnené na pokožke a stimulujú nervy pomocou elektrických impulzov. Motorické nervy sú analyzované pomocou elektród situovaných nad svalom, ktorý bol inervovaný z nervu, ktorý stimulujeme. Odozva svalu na elektrický impulz je nahrávaná a následne vyhodnotená. Zo záznamu sa dá identifikovať ako rýchlo a ako dobre daný nerv reagoval. Analytické EMG zahŕňa testovanie motorického a senzorického nervového vedenia. Nevýhodou tohoto merania je, že snímacia elektróda registruje akčné potenciály rôznych motorických jednotiek, preto sa častejšie používajú ihlové elektródy.

Povrchové elektródy, prstencovitého alebo diskovitého tvaru, sa používajú pri bežnej analytickej EMG. Pri tejto metóde sa používajú tri povrchové elektródy a to: aktívna, referenčná a zemniaca. [3]



Obr. 1.4: Základné rozmiestnenie elektród u testovania senzorického nervového vedenia, prevzaté z [3].

1.2..2 Ihlová EMG

Proces, kedy sa do probanda zavádza elektróda v podobe ihly pod kožu, priamo do konkrétneho svalu a študuje sa elektrická aktivita svalu, sa nazýva ihlová elektromyografia. Pri tejto invazívnej metóde sa nepoužívajú žiadne stimulátory, ale elektrická aktivita je zaznamenaná priamo z meraného svalu. Meriame potenciálový rozdiel medzi vnútornou a vonkajšou elektródou. Ihlová EMG sa líši od analytickej vo viacerých faktoch. Jedným z nich je už spomínaná ihla nahrádzajúca aktívnu elektródu, ktorá sa umiestňuje na kožu. Podstatný rozdiel je, že u analytickej EMG dostávame priamo informáciu o svaloch a nepriamo získavame informáciu o nervoch, ktoré inervujú svaly.

Ihlové elektródy sú jednorázové a používajú sa výhradne pre EMG. Členia sa na monopólové (sú menej bolestivé, menej elektricky stabilné a najlacnejšie), bipólové a koncentrické.

Podobne ako pri analytickej EMG, tak aj u ihlovej EMG sa používa aktívna, referenčná a zemniaca elektróda. [3]

1.3 Respiračný systém

Dýchanie predstavuje jednu zo základných životných funkcií organizmu, tak ako aj srdcová činnosť. Respirácia je úzko spätá s aktivitou kardiovaskulárneho systému a

je ovplyvnená zmenami medzi pokojnou a budivou dobou. Respirácia ako samotná záujmová oblasť sa takmer nikdy nemeria samostatne. Najčastejšie sa vyskytuje popri meraní záznamu EKG, ERP, alebo pri impedančnej kardiografii. Napriek tomu, že záznam respirácie probanda vie priblížiť informácie o fyziologickej funkcii pľúc, nedáva sa tejto problematike väčší význam.

1.3.1 Respirácia

Dýchanie delíme na vnútorné a vonkajšie. Vnútorné prebieha ako výmena O₂ a CO₂ medzi krvou a tkanivami, vonkajšie ako výmena O₂ a CO₂ medzi alveolárnym vzduchom a krvou.

Inspirácia je aktívny príjem kyslíka pľúcami z vonkajšieho prostredia a jeho transport krvou do tkanív. Opačný dej je expirácia, pri ktorej dochádza k odvádzaniu oxidu uhličitého von z tela.

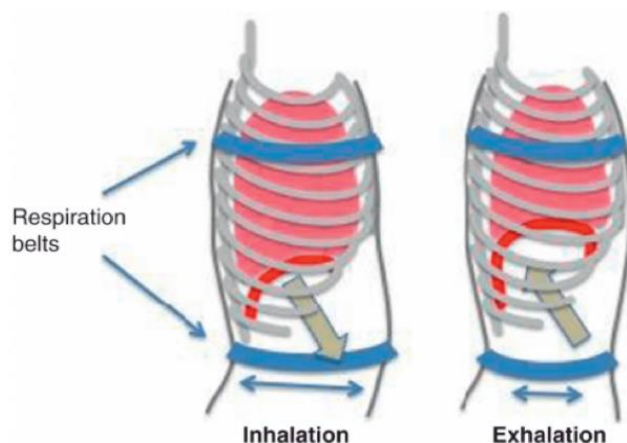
Vlastná výmena plynov prebieha v alveolách, čo sú pľúcne mechúriky vystlané tenkým epitelom priliehajúce na hustú sieť krvných vlásočníc. Samotné dýchanie spočíva v rytmickom zväčšovaní a zmenšovaní objemu hrudníka.

1.3.2 Záznam dýchania

Na vyhodnotenie respirácie sa používajú elastické respiračné pásy, ktoré sú umiestnené okolo hrude probanda dvoma spôsobmi.

Prvým spôsobom je použitie jedného respiračného pásu, ktorý obopína hrud' horizontálne v jeho strednej časti, približne cez stred hrudnej kosti. Druhým spôsobom, komplexnejším, je použitie dvoch respiračných pásov. Prvý je umiestnený na hrudi ako to bolo v prvom prípade. Druhý pás je zasadený nižšie, pod oblasť hrudného koša, čiže pod bránicu, tiež v horizontálnej rovine.

Pri aktívnom dýchaní sa pásy pri nádychu natáhajú a pri výdychu sa vracajú do pôvodného stavu. [4] Aktivita pľúc je zaznamenaná na grafe závislosti objemu vzduchu v pľúcach na čase.



Obr. 1.5: Znáznornenie hrudníka při inspirácií a expirácií při použití respiračních pásov, převzaté z [4].

1.4 Kožná vodivost'

1.4.1 Koža

Koža je najväčší ľudský orgán tvoriaci povrch tela. Nielenže vytvára hranicu medzi vonkajším a vnútorným svetom, ale zastáva veľa dôležitých funkcií.

Medzi základné funkcie kože patria ochranná a obranná funkcia proti mechanickým, chemickým, biologickým a radiačným vplyvom vonkajšieho prostredia. Ďalším faktom je, že koža, najmä jej povrchová časť pokožka, zastáva zmyslovú (senzorickú) funkciu. Obsahuje množstvo buniek citlivých na teplo, tlak, bolesť a dotyk, preto sa nazýva orgánom hmatu. Jej poškodenie má veľký vplyv na jej citlivosť a aj ochrannú funkciu proti mikroorganizmom a iným baktériám.

Tak ako iné orgány, tak aj koža je zložená z dôležitého krvného systému, hladkej svaloviny, inervácií a zohráva významnú úlohu v obranyschopnosti organizmu.

Koža pozostáva z dvoch tkanivových typov: epidermis a dermis. Epidermis (pokožka) je tvorená viacvrstvom epitelom. Dermis (zamša) sa skladá z väzivového tkaniva.

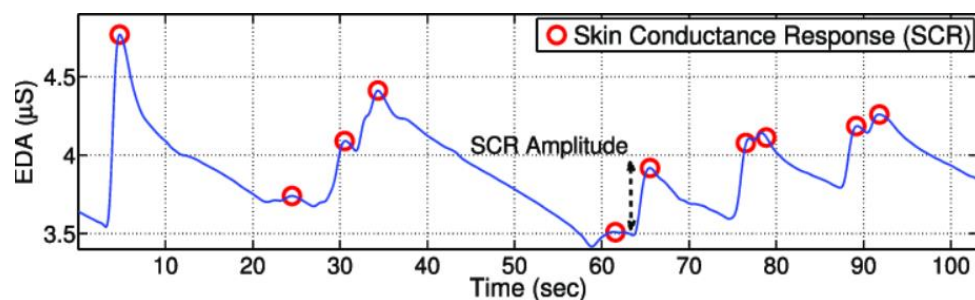
Na spodnej vrstve zamše sú uložené potné žľazy, ktoré produkujú pot. Hlavnou funkciou potných žliaz je udržiavanie stálej telesnej teploty, takže keď je človeku teplo, začnú potné žľazy uvoľňovať pot a tým sa telo ochladzuje.

1.4.2 EDA

Elektrodermálna aktivita, teda EDA, zahŕňa všetky elektrické javy, teda aktívne aj pasívne, ktoré prebiehajú v koži. Jedná sa o neinvazívnu metódu, ktorá je založená na predpoklade, že koža je nevodivá vrstva. Vodivou sa stáva v momente, keď sa na jej povrchu objaví vrstva potu.

Pri meraní EDA sa 2 elektródy umiestňujú na dlaň, alebo na konečky prstov jednej ruky a zaznamenáva sa kožná vodivosť v príslušnom prúde, ktorý vzniká pri prechode malého napätia medzi umiestnenými elektródami.

Meraná vodivosť úmerne stúpa s množstvom potu v potných žľazách, ktoré sú lokalizované pod danými elektródami. Základný level vodivosti bez prítomnosti stimulácie je využitý ako index vzbudenia tónického sympatika. Odpoveď kožnej vodivosti (SCR) je zaznamenaná ako odpoveď sympatika na diskkrétne podnety. Záznam SCR na opakované diskkrétne podnety poskytuje ďalší index zapamätania si, alebo adaptácie na pravidelné impulzy, čo spôsobuje pokles odpovede. SCR môže byť bezpečne stimulovaná senzorickým systémom. [5]



Obr. 1.6: Príklad EDA signálu SCR (vyznačené červeným „o“), prevzaté z [6].

2 DOSTUPNÉ SYSTÉMY

2.1 BITalino

Biosignály majú veľmi špecifické požiadavky a preto viaceré projekty venujúce sa tejto oblasti boli ukončené kvôli vysokým nákladom a obmedzeným prístupom vhodných hardverových materiálov.

BITalino je nízkonákladová a univerzálna modulárna sada, ktorá umožňuje rýchlu a jednoduchú tvorbu medicínskych pomôcok a aplikácií na sledovanie biosignálov. Je to zjednodušený systém pre tvorcov, vývojárov a výskumníkov aplikácií, ktorí chcú v krátkom čase zachytiť biologické signály pomocou fyziologických senzorov.

2.1.1 Hardware

Sampling Rate	1, 10, 100 or 1000 Hz
Analog Ports	4 input (10-bit) + 2 input (6-bit)
Digital Ports	4 input (1-bit) + 4 output (1-bit)
Data Link	Bluetooth (range up to 10m)
Actuators	LED
Sensors	EMG; ECG; EDA; ACC; LUX
Battery	3.7V Lithium Ion
Weight	30 g / 1.06 oz
Size	105x60 mm / 4.13x2.36 in

Tab. 2.1: Hlavné špecifikácie BITalina, prevzaté z [7].

V BITaline je integrovaných viacero meracích snímačov na akvizíciu bioelektrických a biomechanických údajov. Digitálny koniec je podporovaný riadiacim blokom, založeným na mikrokontrolóre Atmega328P, blokom riadenia výkonu a komunikačným blokom, ktorý používa modul Class II Bluetooth v2.0 na bezdrotový prenos dát na základnú stanicu, ktorou je počítač, mobilný telefón, atď. Dva doplnujúce pripojené bloky zahrnuté do dosky umožňujú pripojenie konektorov RJ22 do prístroja.

Základnou stavbou je samostatná doska s integrovanými palubnými snímačmi pripojenými na analógové a digitálne porty na riadiacom bloku. Rovnako je integrované ovládanie, napájanie a komunikačné bloky, podobne ako softvér s univerzálnym účelom, ktorý umožňuje ľuďom používať výlučne digitálny koniec BITalina konštruovaný s vlastným senzorom a ovládacím prvkom.

Navyše každý blok môže byť fyzicky oddelený od hlavnej dosky, čo umožňuje jeho rozmanité využitie. V podstate sa používajú tri konfigurácie:

- Board – BITalino nezahrňa žiadne modifikácie a používa sa na jednoduché experimenty s palubnými senzormi.
- Plugged – Prípojky sú prídavné k BITalinu a jednotlivé bloky snímačov sú separované od hlavnej dosky, v ktorej sú integrované len kontrolné, napájacie a komunikačné bloky, rovnako aj prídavné pomocné bloky.
- Freestyle – Jednotlivé bloky sú odlúčené od hlavnej dosky, čo umožňuje kombinovanie blokov podľa potreby na realizáciu projektov.

Vstupné kanály zvolené užívateľom sú vzorkované MCU na riadiacom bloku a formátované do dátových balíkov s premenlivou veľkosťou. Kód CRC (Cyclic Redundancy Check) sa počíta nezlučiteľne kvôli identifikácii a obnove z dátového balíka, rovnako ako poradové číslo balíka pridané pri zisťovaní straty dátových balíkov.

Jednotlivé bloky senzorov sú integrované na analógovom konci BITalina. Balík senzorov pozostáva z EMG (zачytenie elektrickej aktivity svalov), EKG (srdcová elektrická aktivita), EDA (zmeny v kožnom odpore), ACC (zmeny antigravitačného zrýchlenia), a taktiež svetelného senzora LUX a LED analógového bloku na synchronizáciu napríklad s videokamerou.

EKG senzory sa používajú na záznam jednokanalového EKG, z ktorého sa dá určiť srdcová frekvencia a HRV. Elektrody, ktoré môžu byť kryštalizované alebo nekryštalizované sa aplikujú na štandardné miesta na hrudníku, dlani a prstoch.

EMG senzory zachytávajú bioelektrickú aktivitu svalov, z ktorej sa získava nábeh a trvanie svalovej aktivity. Štandardné elektrody sa aplikujú na povrch svalov, konkrétne jedného.

EDA senzory sa používajú na vyhodnotenie aktivity sympatika nervového systému, kde sa dve elektrody ukladajú na dlaň alebo chodidlo a meria sa zmena v kožnej impedancii, vzniknutá sekréciou potu.

ACC sa využíva na zachytenie biomechanickej udalosti a svetelný senzor na meranie okolitého svetla. [7]

	ECG	EMG	EDA	ACC	LUX
Principle	V. Diff.	V. Diff.	Resist.	MEMS	Photo Trans.
Electrodes	2 or 3	3	2	-	-
Bandwidth	0.5-40Hz	10-400Hz	0-3Hz	0-50Hz	-
Input Imp.	100GΩ @ 3pF	100GΩ @ 3pF	-	-	-
CMRR	110dB	110dB	-	-	-
Range	0-3mV	0-3.3mV	0-1MΩ	±3G	360-970nm
Gain	1100	1000	2	-	-

Tab. 2.2: Charakteristika jednotlivých senzorových blokov využitých pri BITaline, prevzaté z [7].

2.1.2 Zhodnotenie

Bitalino, napriek svojej jednoduchosti používania a hlavne vďaka jeho malým rozmerom, ponúka kvalitné výstupné dáta. Jednotlivé štúdie sa sústreďujú na rôzne technické parametre, kde hodnotia kvalitu výstupných signálov a využitie BITalina.

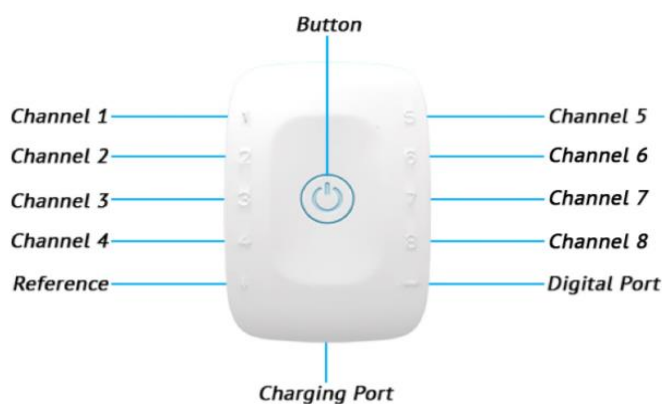
Model ATmega328P je vybavený 10-bitovou postupnou aproximáciou ADC, ktorá pracuje so vstupnou frekvenciou 200 kHz, zabezpečuje maximálne rozlíšenie a je pripojená k 6-kanálovému analogovému multiplexeru s jednosmernými napäťovými vstupmi (0-3,3V).

Na vyhodnotenie analógovo-digitálneho prevodníka ADC sa používa SNR, THD, SINAD a ENOB. SNR je počítané ako pomer výkonu elektrického signálu k šumu pod polovicou vzorkovacej frekvencie. Šumový výkon vylučuje harmonické signály a DC. THD sa zisťuje ako súčet výkonov harmonických zložiek rozdelených vstupným signálom. SINAD sa počíta ako pomer amplitúdy základného vstupného signálu k súčtu všetkých ostatných spektrálnych zložiek pod polovicou vzorkovacej frekvencie okrem DC. Teoretické minimum SINADu je rovné ideálnemu SNR. Vyššie ENOB znamená, že úrovne napätia zaznamenané v AD konverzii sú presnejšie.

2.2 Biosignals Plux

Biosignals Plux je bezdrôtový nástroj, schopný zbierať a analyzovať spoľahlivé biosignály s vysokým rozlíšením. Toto zariadenie je štruktúrou veľmi podobné Bitaline, no jeho využite je rozšírenejšie, vďaka prídavným senzorom.

Softvér, ktorý sa používa v tomto systéme je OpenSignals, ktorý je všestraný pre vizualizáciu biosignálov v reálnom čase a je schopný priamej interakcie so všetkými zariadeniami PLUX. Veľkou výhodou je snímanie údajov z viacerých kanálov súčasne. Ďalšou výhodou je doplnok, ktorý umožňuje analýzu dát bez manuálneho kódovania.



Obr. 2.1: Biosignals Plux porty, prevzaté z [8].

Je to 4 alebo 8- kanálové zariadenie, ktoré zhromažďuje a digitalizuje všetky analógové signály zo senzorov a príslušenstva a následne ich prenáša cez Bluetooth do počítača. V počítači sú zaznamenávané a vizualizované v reálnom čase. Kanály podporujú až 16 bitové rozlíšenie a vzorkovaciu frekvenciu 3000 Hz na jednotlivé kanály. To znamená, že biosignals plux umožňuje použitie naraz 8 kanálov s 3000 16-bitovými vzorkami za sekundu, alebo 4000 Hz vzorkovaciu frekvenciu na kanál, pričom je možné využiť len 3 kanály súčasne. Biosignalsplux má nepretržitú životnosť batérie až 12 hod, s napájaním 700 mA 3.7V LiPo.

4-kanálový rozbočovač je dostupný v súpravach Biosignalsplux Explorer a Force Platform. Štandardná verzia tohoto rozbočovača nemá vnútornú pamäť a digitálny port, ktorý umožňuje používanie iného príslušenstva.

8-kanálový rozbočovač je dostupný v súpravach biosignalsplux Researcher a Professional a umožňuje používanie až 8 senzorov a 3 prídavných zariadení, pomocou multisynchronizačného kábla. Súčasťou je digitálny port a vnútorná pamäť.

Rozbočovač, ktorý je dodávaný s vnútornou kapacitou pamäte 8 GB je súčasťou sady Professional a rozbočovač s voliteľnou internou pamäťou sa nachádza v sade Researcher.

Biosignal plux je kompatibilný so všetkými dostupnými snímačmi biosignálov aj iným príslušenstvom. Prístroje s vnútornou pamäťou tiež umožňujú možnosti pre palubné funkcie zaznamenávania dát, bez trvalého pripojenia Bluetooth.

Pri použití senzorov sa u biosignalu plux nepridávajú bloky senzorov, ale senzory sú pripájané na analógové vstupy jednoducho pomocou kábla od senzora. Súčasťou sady sú senzory ACC (akcelerometer), BVP (pulz krvného objemu), ECG (elektrokardiogram), EDA (elektrodermálna aktivita), EEG (elektroencefalogram), EMG (elektromyografia), PZT (respirácia), a ďalšie. Elektródy od EKG, EMG, EDA sa umiestňujú podobne ako je to pri Bitaline. Respiračný pás sa pevne umiestňuje okolo hrude na bránicu.[8]

2.3 Thought Technology

Thought technology je významným výrobcom prístrojového vybavenia na meranie fyziologických a mechanických signálov, ktoré okrem zaznamenávania poskytuje aj analýzu a spätnú väzbu v reálnom čase prostredníctvom rozličných zvukových a vizuálnych doplnkov. Tento systém je predurčený na klinické hodnotenie stresových porúch, rehabilitácie svalov, vrátane sEMG stimulácie, ergonómií a športu, všade kde je potrebné presné a citlivé psychofyziologické monitorovanie.

Jednotlivé systémy pozostávajú z kóder, senzorov, elektród a doplnkového príslušenstva. Spoločnosť ponúka rôzne verzie jednotlivých komponentov. Kóder ProComp5 Infinity je 5-kanálové multimodálne zariadenie na meranie spätnej väzby a akvizície dát v reálnom čase. Má 5 chránených pinových vstupov, z čoho 2 kanály sú vzorkované na 2048 vzoriek za sekundu a 3 na 256 vzoriek za sekundu. ProComp5 Infinity

kóder poskytuje širokú a komplexnú škálu objektívnych fyziologických znakov, ktoré sa používajú pri klinickom pozorovaní. Súčasť tvorí aj TT-USB vstup, vstup pre optický kábel a štyri alkalické AA batérie. Aktívne elektronické snímače splňajú náročné štandardy na presnosť, citlivosť, trvanlivosť a jednoduchosť použitia nástroja. Zároveň sú neinvazívne a vyžadujú si len veľmi krátku prípravu. V závislosti od daného softvéru, ktorý sa pri tomto kóderi používa môžu naň byť napojené rôzne senzory.

Spomínané senzory prenášajú nameraný analógový signál do kódera, ktorý signál navzorkuje, digitalizuje a dané vzorky ďalej transportuje do spojovacieho modulu TT-USB, ktorý spája kóder s hostiteľským počítačom. Optický kábel je praktický pre užívateľov, pretože umožňuje voľný pohyb a zároveň poskytuje splachivosť a elektrickú izoláciu.

Podobne ako Thought Technology ponúka rôzne typy kóderov, taktiež má vytvorenú širokú škálu softverov, ktoré sú prispôbené potrebám užívateľa. Softvér BioGraph Infinity je vyvinutý modulárnym spôsobom tak, aby menej zaťažoval pamäť počítača a nezapíňal ho neúčelným softvérom.

Senzory sa veľmi nelíšia od senzorov používaných u Bitalina alebo Biosignals Flux zariadení. Pravda, Thought Technology ponúka ďalšie senzory s inými konfiguráciami. Jedná sa o predzosílené senzory, ktorými sa zaznamenáva EKG, EMG, EEG a BVP. Tomu sú prispôbené aj elektródy, ktoré môžu byť aj triódové. [9]



Obr. 2.2: Kóder ProComp5 Infinity(vľavo), Senzor(vstrede), triódová elektroda so senzorom(vpravo), prevzaté z [9].

2.4 BioRadio

BioRadio je biomedicínske zariadenie s programovateľnými kanálmi na meranie fyziologických signálov. Ponúka veľa výhod, ako je nositeľný bezdrôtový monitor, ktorého malé rozmery zabezpečujú pohodlie pre probanda, jednoduché nastavenie a ovládanie zariadenia a vnútornú pamäť, ktorá zabezpečuje následnú analýzu dát pomocou počítača.

Prístroj ponúka širokú škálu využitia, napríklad vo výskumných a výukových laboratóriách, pre klinické štúdie, ktoré majú ale všetky rozličné spracovanie signálov aj softvérových možností. Softvér je upravený na špecifické nároky užívateľa.



Obr. 2.3: Funkcia vstupov a tlačidiel u BioRadio, prevzaté z [10].

Data	
Wireless Connection	Bluetooth Classic / Low Energy
Maximum streaming data rate	190 kbps
Transmission Range	30 meters
Biopotential Acquisition	
Differential or Single-ended channels	4 or 8
Input range	1 μ V – 2V
Sampling rate	250-16,000 Hz
Sampling resolution	12, 16, 24 bit
Common Mode Rejection	-100 dB
Input Impedance	500 M Ω
Galvanic Skin Response	.1-24,000 μ S

Tab. 2.3: Hlavné špecifikácie BioRadia, prevzaté z [10].

Fyziologický monitor poskytuje flexibilnú platformu na akvizíciu fyziologických signálov. Konfigurovateľné kanály umožňujú záznam rôznych signálov, ako EKG, EMG, EEG, podobne aj respiráciu, krvný tlak a ďalšie. Dáta sú bezdrôtovo prenesené cez 2,4 GHz rádiovým spojením na blízky USB prijímač. Následné spracovanie dát umožňuje aj

analýzu signálov, ako detekcia R vln, vytvorenie tachogramu, extrakcia P, QRS a T vln pri EKG. Sensory, ktoré sa používajú pri tomto zariadení, sú štandardné.

Napriek svojej vysokej cene je BioRadio používaným systémom na vyhodnotenie elektrofyziológických aj fyziologických dát. [10]

2.5 Arduino

Arduino je na trhu veľmi populárne zariadenie, najmä vďaka jeho nízkym nákupným nákladom a jeho multifunkčnému využitiu, nie len v oblasti biomedicíny ale aj ako inteligentná domácnosť a podobne.

Je to open-source platforma založená na mikrokontroléry ATmega, a naprogramovaná v programe Java. Programy pre Arduino sa píše v jazyku C, alebo v jazyku C++.

Na tejto platforme bol navrhnutý lacnejší systém Vitalino, ktorý je kompatibilný s operačným systémom Android a slúži na akvizíciu biosignálov. Tri hlavné súčasti Vitalina sú: biomedicínske senzory, ktoré umožňujú získavanie signálov, systém, vďaka ktorému získavame signály, ktorý je založený na platforme Arduina a prenáša signál cez Bluetooth do základnej stanici a sada aplikačných programovacích rozhraní (API), ktoré sú kompatibilné s rôznymi systémami.

Tento systém je vhodný využiť na meranie rôznych typov signálov. Napríklad pri EKG sa využívajú podobné senzory ako pri predošlých systémoch a nameraná elektrická aktivita srdcového svalu je pri tomto zariadení veľmi kvalitná. Hlavnú časť tvorí Arduino Pro Mini (3.3V a 8 MHz), ktorý je priamo pripojený k modulu Bluetooth Mate. Ako napájanie slúži jedna lithium – iontová polymérna batéria s menovitým napätím 3.7V pri 400mAh a jedna LiPo nabíjačka. EKG senzory sú pripojené k jednému z analógových vstupov Vitalina.

Hlavnou funkciou softvéru je ovládanie analógovej a digitálnej akvizície, užívanie preddefinovanej vzorkovacej frekvencie a kontrola všetkých získaných dát, ktoré sú následne odoslané prostredníctvom Bluetooth do iného zariadenia. Systém Vitalino môže fungovať v troch režimoch:

- Live – V tomto režime systém priebežne odoberá analógové aj digitálne kanály
- Simulated – Podobný režim ako prvý, no s tým rozdielom, že systém simuluje akvizíciu a posiela syntetizované signály. Tie sa zhodujú so sinusovými, štvorcovými a pilovitými vlnami.
- Idle – Tento systém deaktivuje akýkoľvek režim v ktorom sa nachádza, a ostáva v pohotovostnom režime, pokiaľ neobdrží príkaz pre spustenie režimu Live alebo Simulated. [11]

3 PALUBNÉ MERANIE

V predchádzajúcej kapitole boli predstavené systémy, ktoré sú dostupné pre meranie fyziologických dát u šoféra. Následne boli použité pri palubnom meraní v laboratóriu na probandovi ženského pohlavia vo veku 21 rokov. Systémy, ktoré boli využité pri akvizícii dát sú BITalino a Biosignals Plux. Meranie bolo vykonané v ranných hodinách. Proband bol uložený do pokojnej polohy na stoličku a počas celého merania mal obmedzený pohyb.

Palubné meranie bolo rozdelené do troch sekcií. Prvú sekciu tvorilo meranie signálov pomocou zariadenia BITalina, druhú sekciu tvorila akvizícia dát pomocou Biosignals Plux. Treťou časťou bolo vyvolanie stresu u probandky a to pri meraní elektodermálnej aktivity za využitia BITalina aj BiosignalsPlux.

Nameraný signál v podobe vzoriek bolo nutné upraviť pomocou prenosovej funkcie, aby bol signál správne uvedený v jednotkách mV(miliVolty) pre EKG, EMG, v jednotkách μS (mikroSiemens) pre EDA a v % pre respiráciu. Túto prenosovú funkciu bolo potrebné použiť pri spracovaní každého signálu v závislosti od použitého akvizičného systému a snímaného signálu. Príklad prenosovej funkcie pre EKG signál získaný zariadením Bitalino je uvedený v rovnici 1:

$$ECG(mV) = \frac{\left(\frac{signal}{2^n} - \frac{1}{2}\right) * VCC}{GECG}, \quad (1)$$

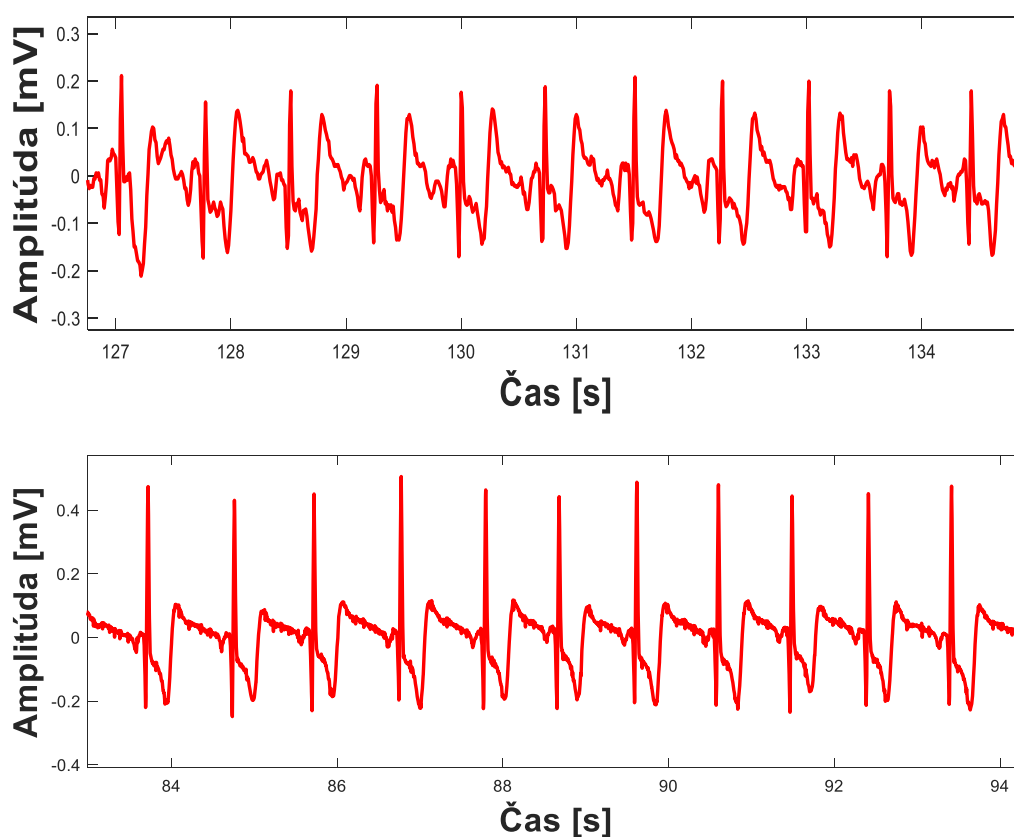
kde signal, je nameraný signál daným zariadením vo vzorkách, n je počet bitov kanála, VCC je prevádzkové napätie a GECG je zesilenie senzora [13].

3.1 Porovnanie BITalina a Biosignals Plux za pokojných podmienok probanda

Na záznam biosignálov boli použité senzory EKG, EMG, EDA a hrudný pás pre záznam respirácie. Na meranie EKG aj EMG u Bitalina bol použitý rovnaký senzor, ktorý bol súčasťou sady. Pri ostatných meraniach boli aplikované vždy tie senzory, ktoré boli špeciálne vytvorené pre dané meranie.

- EKG elektródy sboli umiestnené pod pravú a ľavú kľúčnu kosť a referenčná elektróda asi 10 cm nad pravé trieslo, aby sme dosiahli zapojenie Einthovenovho trojuholníka. V programe OpenSignals boli nastavené dané parametre pre meranie EKG, vzorkovacia frekvencia bola nastavená pri BITaline na 100 Hz a podobne pri

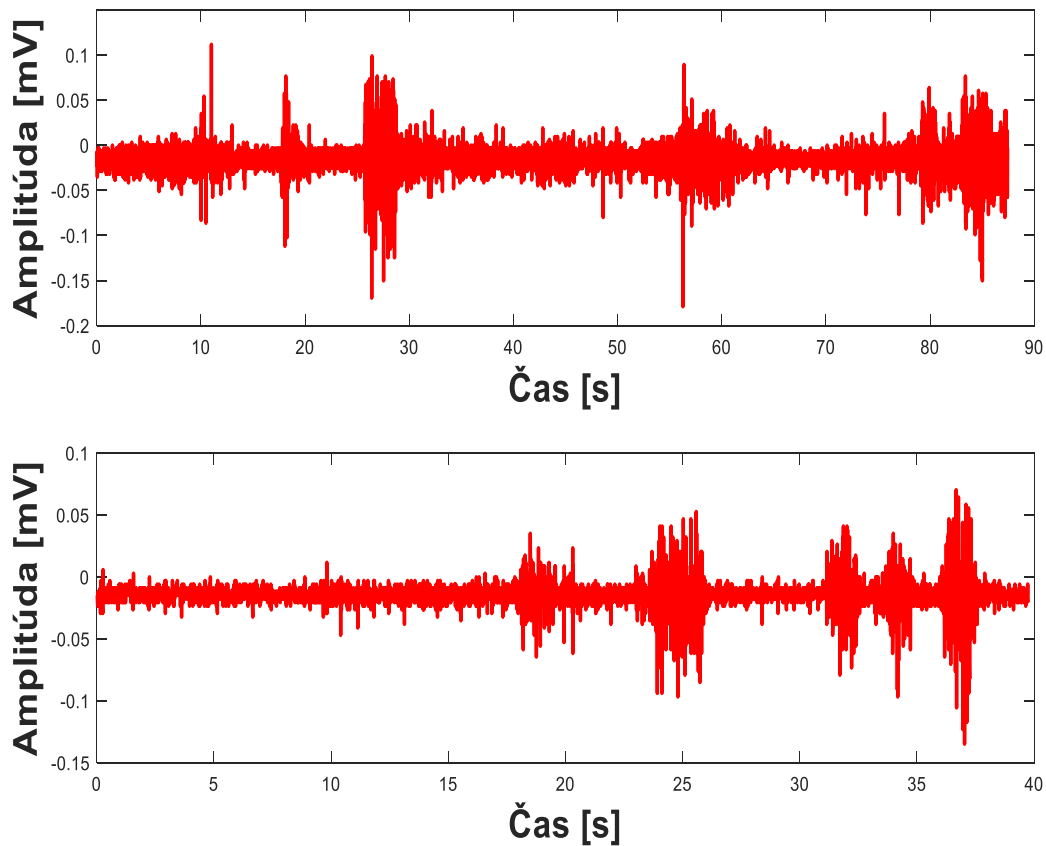
BiosignalsPlux tiež na 100 Hz. Z obrázka 3.1 je evidentné, že jednokanálové záznamy EKG sa navzájom veľmi nelíšia. QRS komplex je pozorovateľný pri oboch záznamoch, podobne je viditeľná P vlna, T vlna ale s otočenou polaritou. Táto chyba pravdepodobne vznikla zamenením elektród +/- . Žiadna extrasystola sa v zázname nenachádza, avšak medzi jednotlivými QRS komplexami, hlavne na zázname z Bitalina, je zreteľný šum, ktorý mohol vzniknúť pôsobením myopotenciálov alebo rušením okolitých elektrických zariadení. Pri meraní dĺžok R-R intervalov bolo zistené, že srdcová činnosť vykazuje pravidelný rytmus.



Obr. 3.1: Záznam jednokanálového EKG u BITalina (vyššie), záznam jednokanálového EKG u Biosignals Plux (nižšie).

- EMG elektródy Bitalina boli umiestnené na trapéze ľavej ruky a elektródy BioSignalsPlux na trapéze pravej ruky s referenčnými elektródami na hmatateľných častiach ramenných kostí. Merania boli uskutočnené nezávisle po sebe. V programe OpenSignals boli nastavené dané parametre na meranie EMG, vzorkovacia frekvencia bola nastavená pri BITaline aj u Biosignals Plux na 100 Hz. Úlohou probandky počas merania bolo pravidelné napínanie trapézového svalu, čo

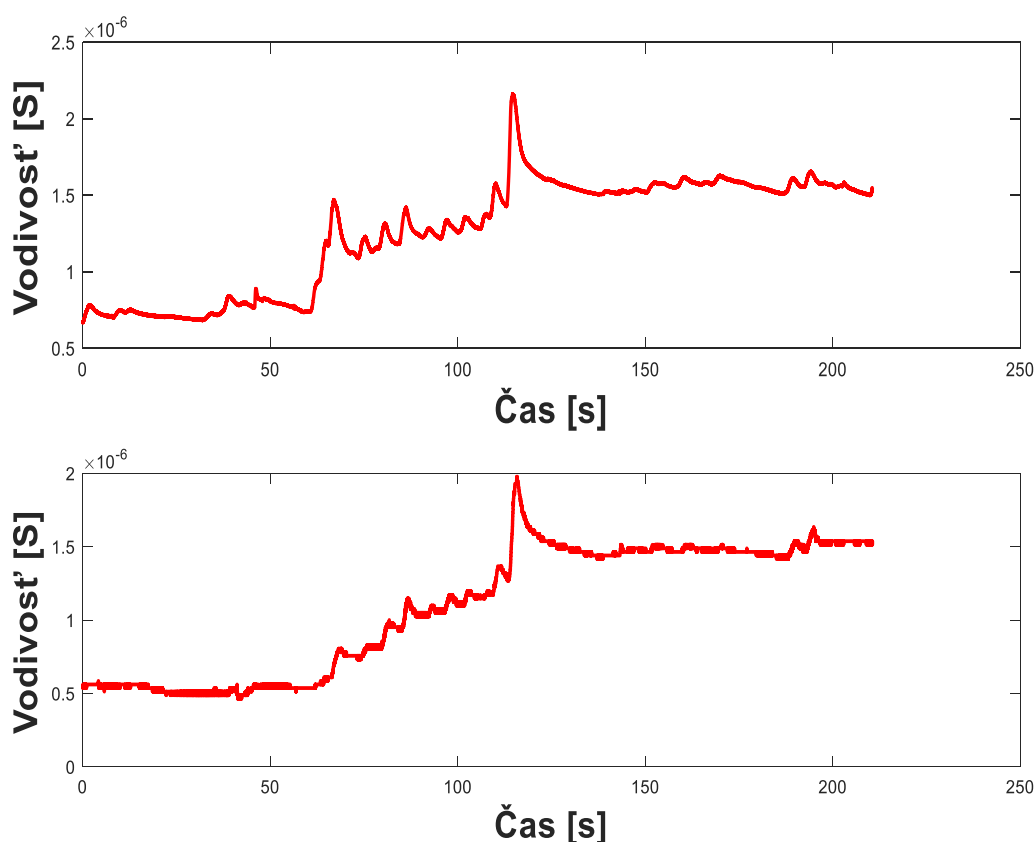
sa viditeľne prejavilo na zázname elektrickej aktivity svalu výrazným nárastom amplitúdy. Ešte výraznejšie zväčšenia amplitúdy boli pozorované pri umiestnení elektród na sval vystierač prstov. Tento záznam EMG nebol úlohou merania, preto sa v práci nevyskytuje.



Obr. 3.2: Záznam EMG pomocou Bitalina (vyššie), záznam EMG pomocou BiosignalsPlux (nižšie).

- Meranie EDA bolo uskutočnené pre Bitalino a BioSignalsPlux súčasne. Dve štandardné elektródy od Bitalina boli umiestnené na zápästie ľavej ruky a na zápästie pravej ruky boli umiestnené štandardné elektródy od BioSignalsPlux a sledovala sa kožná vodivosť. V programe OpenSignals boli nastavené parametre na meranie EDA, vzorkovacia frekvencia bola nastavená na obidvoch zariadeniach na 100 Hz. Keďže meranie bolo začaté za pokojných podmienok, na začiatku krivky neboli viditeľné výrazné zmeny v kožnom odpore. Približne v 65 sekunde na zázname EDA z Bitalina, je možné sledovať nárast mernej vodivosti a v 110 sekunde prudký nárast až na $2.5 \mu\text{S}$ (Siemens-jednotka vodivosti), čo je už viditeľné

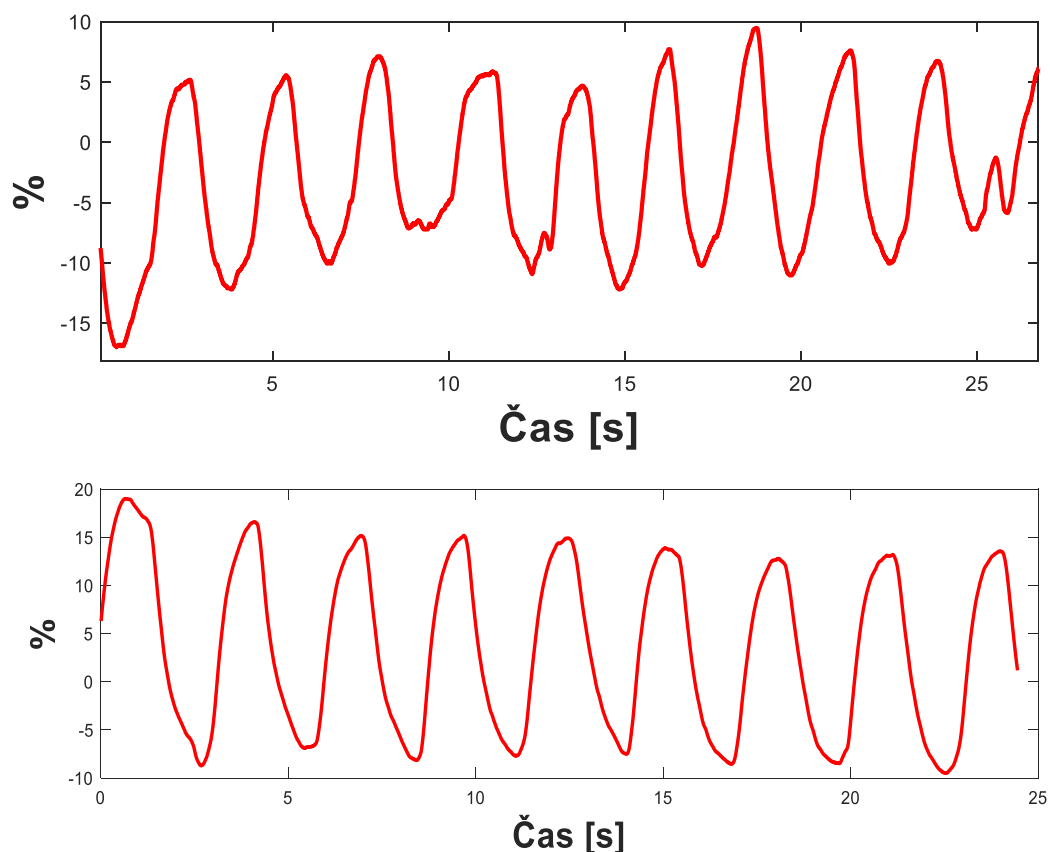
aj na zázname BioSignalsPlux. K nárastu ektodermálnej aktivity u probandky došlo z dôvodu jej uvedenia do stresovej situácií, kedy jej boli spúšťané videá, ktoré navodzujú u sledovateľa pocit strachu. Na zázname BioSignalsPlux nie je v dostatočnej miere pozorovateľný nárast vodivosti v 65 sekunde, čo mohlo byť spôsobené nedostatočným prilnutím elektródy na povrch pokožky, alebo pomalšou odozvou systému na nárast vodivosti. Po 65 sekund je na BioSignalsPlux je viditeľný strmší nárast vodivosti s výkyvmi, než je tomu na zázname z Bitalina. V Bitaline dosahuje najvyšší bod mernej vodivosti $2.1621 \mu\text{S}$ a v BioSignalsPlux $1.9775 \mu\text{S}$. Podľa nižšie uvedených záznamov je možné potvrdiť, že obe zariadenia poskytujú prijateľný signál pre nasledujúce spracovanie.



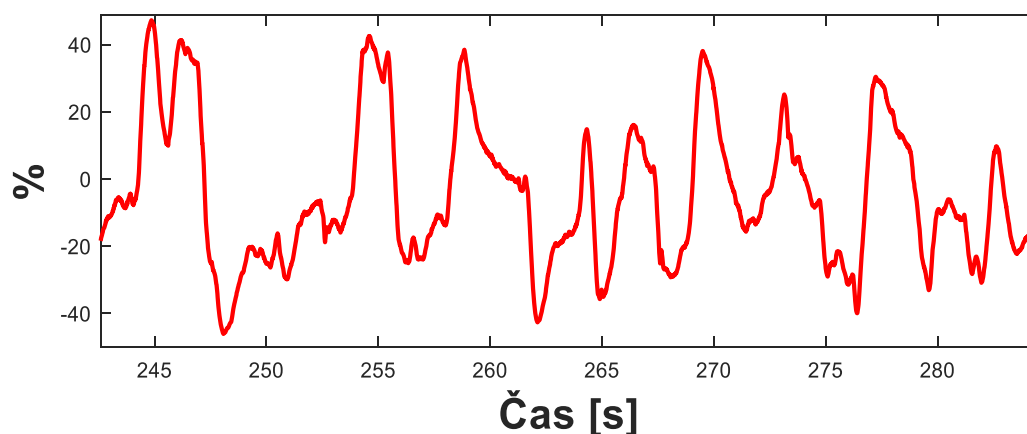
Obr. 3.3: Záznam EDA pomocou Bitalina(hore), záznam EDA pomocou BioSignalsPlux(dole).

- Respirácia bola prevedená na oboch zariadeniach pomocou štandardného pásu, ktorý je súčasťou sady Biosignals Plux. V programe OpenSignals boli nastavené dané parametre na meranie respirácie, vzorkovacia frekvencia bola pri oboch nastavená na 100 Hz. Pás bol upevnený horizontálne okolo hrude probandky pod hrudnú kosť v časti, kde sa nachádza bránica. Na obrázku 3.4 pozorujeme na oboch

záznamoch pravidelný nárast a pokles amplitúdy, čo značí harmonické dýchanie. Na zázname z Bitalina sú pozorovateľné mierne výkyvy najmä pri nástupe inspirácie, kedy boli probandke opätovne spustené videá, ktoré u nej mali vyvolať pocit strachu. Na obrázku 3.5 je vykreslený záznam respirácie, snímaný pomocou BioSignalsPlux, kde sú viditeľné výchylky v dýchaní probandky, ktorá sa pokúšala napodobiť pohyby rúk pri vedení automobilu. Pohyb rúk a ich prísuny k telu značne ovplyvňujú výsledok snímania respirácie, najmä u systému Bitalino.



Obr. 3.4: Záznam Respirácie pomocou BItalina(vyššie), záznam Respirácie pomocou BiosignalsPlux(nižšie).



Obr. 3.5: Záznam respirácie pomocou BioSignalsPlux, ovplyvnený pohybom rúk.

3.2 Vyhodnotenie

Zariadenia BITalino a Biosignals Plux sú vďaka ich konštrukčne malým rozmerom, so softvérom intuitívnym pre používateľa a ich nízkou nákupnou cenou, veľmi kvalitnými systémami pre akvizíciu fyziologických dát. Ako bolo vyššie spomenuté, tieto zariadenia ponúkajú veľmi rýchly a pomerne kvalitný záznam dát ako je EKG, EMG, EDA a respirácia. Prenos dát z daných systémov sa uskutočňuje pomocou Bluetooth, bezdrôtového prenosu dát, čo umožňuje meriacemu väčší komfort vďaka minimalizácii káblov.

Záznam EKG je pomerne kvalitný, ale kvôli nesprávnemu zapojeniu elektród má krivka otočenú polaritu. EMG vykresľuje presne to, čo bolo predpokladané a záznam sa dá považovať za dostatočne relevantný a porovnateľný s inými drahšími systémami. Záznam EDA dokazuje, že kožnú vodivosť je najlepšie merať počas emočne stresového stavu probanda. Vtedy môžeme najzreteľnejšie zachytiť zmenu v EDA, kedy je pozorovateľný nárast mernej vodivosti. Respirácia sa výrazne nelíši medzi meraniami u BITalina a Biosignals Plux - obidva systémy vytvorili postačujúci záznam.

Z vyššie uvedených poznatkov môžeme konštatovať, že systémy, ktoré boli použité pri palubnom meraní v laboratóriu, jednoznačne spĺňajú všetky parametre na zachytenie čo najlepších elektrofyziologických dát, ktoré môžu byť vhodne použité aj pri meraní u vodiča počas jazdy.

4 PROTOKOL PRE TESTOVACIU JAZDU

V kapitole 2 boli popísané dostupné systémy na meranie elektrofyziológických veličín a následne sme uskutočnili palubné meranie na probandovi so systémami Bitalino a BioSignalsPlux, ktoré sme vyhodnotili v tretej kapitole.

V tejto kapitole rozoberieme protokol na testovaciu jazdu v osobnom automobile so zariadeniami Bitalino, BioSignalsPlux a Thought Technology na figurantovi. Osobný automobil má automatickú prevodovku a je určený špeciálne na akvizíciu biosignálov.

4.1 Špecifikácia

Pred testovacou jazdou je potrebné rozhodnúť o tom, kde dôjde k začatiu jazdy, ktorou cestou vodič, odteraz figurant, musí prejsť, a kde dôjde k ukončeniu jazdy. Dôležitým faktorom je stav vozovky a poveternostné podmienky. Poveternostné podmienky môžu spôsobiť výrazné rozdiely vo výsledkoch jazdných skúšok, preto by malo byť pri každej jazde vonkajšie počasie približne rovnaké. Z tohoto dôvodu by bolo ideálne vykonať testy v jeden deň, následne po sebe, kedy je väčšia pravdepodobnosť, že nedôjde k veľkým zmenám počasia. Pre ideálne vyhodnotenie by sa jazdná skúška mala vykonávať za slnečného počasia, alebo polooblačna[12].

Stav vozovky, ako je jej povrchová úprava, upravenosť cesty, množstvo automobilov, motocyklistov, cyklistov a v konečnom rade aj chodcov vyskytujúcich sa na plánovanej trase - všetky vymenované faktory vo veľkej miere môžu ovplyvniť výsledky merania, podobne ako poveternostné podmienky. Preto, aby sa zamedzilo veľkej premávke na ceste, by sa jazdná skúška mala uskutočniť v doobedných hodinách od desiatej hodiny, najneskôr do štrnástej hodiny, alebo v poobedných hodinách po šesťnástej hodine. Nie je vhodné uskutočniť testovaciu jazdu v skorých ranných hodinách, ani v poobedných hodinách od štrnástej hodiny, pretože premávka na ceste je v tomto čase čiastočne obmedzená a dochádzalo by k predĺženiu merania a nekonzistentým výsledkom. Jazdu treba tiež vyčleniť na iný deň ako je začiatok týždňa, alebo koniec pracovného týždňa.

Ďalšími dôležitými faktormi, ktoré majú významný dopad na výsledky merania sú citové rozpoloženie pacienta a zdravotný stav. Figurant by sa mal sústrediť a byť v pokoji počas celého merania a nemal by byť v zlej zdravotnej, alebo duševnej kondícii. Každá zmena v jeho zdravotnom stave, ktorá nemá pozitívny charakter môže ovplyvniť celé meranie [12].

Dodržiavané majú byť konštantné hodnoty vnútorného prostredia automobilu ako je teplota, vlhkosť, tlak a hladina zvuku, pričom hodnoty veličín by mali spĺňať požiadavky pre pohodlie vodiča [12].

Figurant musí byť informovaný o inštrukciách a dodržiavať regulárnu jazdu, musí rešpektovať predpísanú rýchlosť a rádio musí byť stíšené na minimum. Figurant je vopred oboznámený s plánom cesty a jeho konanie sleduje pozorovateľ, prípadne pozorovatelia, ktorí sedia na strane spolujazdca, alebo v zadnej časti auta a sú povinní nenarušať pozornosť, normálne správanie a citový stav figuranta. Pozorovateľ má za úlohu počas testovacej jazdy monitorovať experiment pomocou notebooku, zaznamenávajúceho fyziologické údaje a signály. Zároveň by si pozorovateľ mal robiť poznámky o tom, ktorou trasou figurant prechádzal, aké faktory ovplyvňovali ako vodiča ale aj celú jazdu, kedy bol u figuranta navodený stres a naopak, kedy sa nachádzal figurant v pokoji. Stres môže byť vyvolaný pri predbiehaní a dávání prednosti inému automobilu, alebo chodcom na prechode pre chodcov. V pokoji sa figurant nachádza pri čakaní na zelenú na semafore, prípadne ak testovacia jazda prebieha na diaľnici za nízkej premávky.

Takto zvolená testovacia jazda na diaľnici bola vyhodnotená v štúdií „Biosignals for Driver's Stress Level Assessment: Functional Variable Selection and Fractal Characterization“, ktorá sa zameriava na hodnotenie úrovne stresu vodiča automobilu v mestskom priestore a na diaľnici s využitím fyziologických meraní. Čoraz častejšie sa vyskytuje inherentná potreba študovať ľudský afektívny stav počas riadenia automobilu, kde kľúčovými faktormi sú bezpečnosť a pohodlie vodiča. Na tieto faktory berú ohľad výrobcovia vozidiel, návrhári mestských priestorov a poskytovatelia dopravných služieb, obzvlášť v kontexte rastúcej urbanizácie. Táto práca sa zameriava na štúdium zmeny stresovej úrovne počas reálnej jazdy v mestskom priestore oproti diaľnici. Bolo zistené, že meranie ektodermálnej aktivity EDA na nohe u vodiča počas jazdy je relevantné na klasifikáciu stresovej úrovne a dôležitým faktorom je umiestnenie meracích senzorov. Štúdia ukazuje, že EDA môže byť považovaná za potenciálny indikátor stresu v reálnom čase počas jazdy. [12]

4.2 Umiestnenie elektród

Pri zázname fyziologických veličín je nutné zohľadniť aj umiestnenie elektród na figurantovi. V kapitole 3 sú popísané výsledky palubného merania, pri ktorom boli použité štandardné nalepovacie elektródy na meranie elektrokardiografie EKG, elektromyografie EMG, ektodermálnej aktivity EDA a respirácie, ktoré boli umiestnené podľa bodu záujmu.

Počas testovacej jazdy budú opäť použité štandardné nalepovacie elektródy, ktoré budú vhodne rozmiestnené na pokožke figuranta tak, aby mu čo najmenej prekážali pri vedení vozidla. Predovšetkým sa musí brať ohľad na pohodlie figuranta a z dôvodu použitia dvoch záznamových systémov počas jedného merania je nutné zvážiť umiestnenie meracích elektród z oboch zariadení. V súprave u Bitalina sa nenachádza respiračný pás, z toho dôvodu nám záznam respirácie poskytuje len BioSignalsPlux a Thought Technology. Rozmiestnenie a zapojenie elektród bolo vykonané podľa prístupnej

dokumentácií o používaní jednotlivých senzorov pre Bitalino [13], pre BioSignalsPlux [8] a pre Thought Technology [17]. Niektoré senzory boli rozmiestnené tak, aby bolo figurantovi zabezpečené, čo najväčšie pohodlie a zamedzilo sa poškodeniu, prípadne roztrhnutiu prírodných káblov. V nasledujúcich podkapitolách je približené rozmiestnenie elektród pri testovacej jazde za použitia Bitalina a BioSignalsPlux.

4.2.1 Elektródy EKG

Na meranie EKG sa používajú tri elektródy podľa vzoru Einthoveena, čiže elektródy sa umiestnia na hrudník do tvaru trojuholníka. V súprave Bitalina je senzor na meranie EKG zostavený z troch elektród, ktoré majú dĺžku spojovacích káblov dostatočne dlhú (približne 30 cm), takže lokalizovanie elektród prebieha nasledovne. Dve elektródy umiestnime pod kľúčne kosti, jednu pod pravú a druhú pod ľavú kľúčnu kosť. Tretiu elektródu nalepíme v pravej časti brucha približne nad dvanástym rebrom. Súprava BioSignalsPlux obsahuje elektródy na meranie EKG s krátkymi káblami (približne 7 cm). Elektródy sa nalepia pár centimetrov pod meriaciu elektródu EKG Bitalina.

4.2.2 Elektródy EMG

Elektródy používané na záznam EMG sú tiež tri, ako je tomu pri EKG. Referenčná elektróda sa musí umiestniť na časť kože, kde je hmatateľný výstup kosti. Pri meraní sa elektródy umiestnia na lýtko, čiže na zadnú časť dolnej končatiny v oblasti medzi kolenom a kotníkom. Elektródy je nutné umiestniť na pravú nohu z toho dôvodu, že figurant pri jazde využíva výlučne pravú nohu na pridávanie a brzdenie.

4.2.3 Elektródy EDA

Pri zázname EDA sa využíva zapojenie dvoch elektród. Pre naše účely zvolíme umiestnenie elektród na zápästia pravej a ľavej ruky, pričom pre každé zariadenie použijeme jedno zápästie. Nalepenie elektród na dlaň ruky je pre figuranta počas jazdy veľmi nepohodlné a obmedzujúce vykonávať prácu vodiča. Pri palubnom meraní, ktoré bolo vyhodnotené v tretej kapitole nebolo umiestnenie elektród rozhodujúce.

4.2.4 Respiračný pás

Ako bolo vyššie uvedené, respiračný pás bol len súčasťou súpravy BioSignalsPlux a Thought Technology. Tento pás bol obtočený okolo hrude figuranta približne vo výške, kde sa nachádza bránica.

5 TESTOVACIE JAZDY

Testovacie jazdy boli uskutočnené nezávisle, na dvoch rôznych osobných automobiloch dvoma rôznymi figurantmi, približne v rovnakom veku. Na tieto merania boli použité dva systémy a to Bitalino a BioSignalsPlux, ktoré sú definované v druhej kapitole. Obaja figuranti boli oboznámení s protokolom testovacej jazdy, ktorý je bližšie určený v 4. kapitole, a počas celej jazdy ho dodržiavali.

Oba automobily mali automatickú prevodovku, takže sme sa vyhli pohybom pravej ruky pri preradovaní rýchlosti a pohybom ľavej nohy z dôvodu stláčania spojky, ktoré by mohli mať negatívny vplyv na výsledné signály v podobe šumu, ktorý spôsobujú myopotenciály, mohlo by dôjsť k skorému odlepeniu elektród z pravého zápästia na meranie EDA a ďalším nerovnostiam v zázname respirácie, ktoré by spôsobovali nadmerné pohyby pravej ruky. V nasledujúcich podkapitolách sú priblížené detaily oboch jazd s priloženými nameranými signálmi.

5.1 Prvá jazda

Prvá jazda na osobnom automobile značky BMW bola uskutočnená 24.4.2019 v poobedňajších hodinách o 16:30. Jazda trvala 33 minút a bola začatá aj ukončená počas slnečného počasia. Figurant a traja pozorovatelia vyrazili z parkovacieho miesta na Ústave súdneho inžinierstva v Brne a pokračovali smerom do centra mesta. Premávka bola počas celého merania pokojná a pasažieri neuviazli v žiadnej zápche. Figurant dodržiaval všetky podmienky protokolu aj pravidlá cestnej premávky.

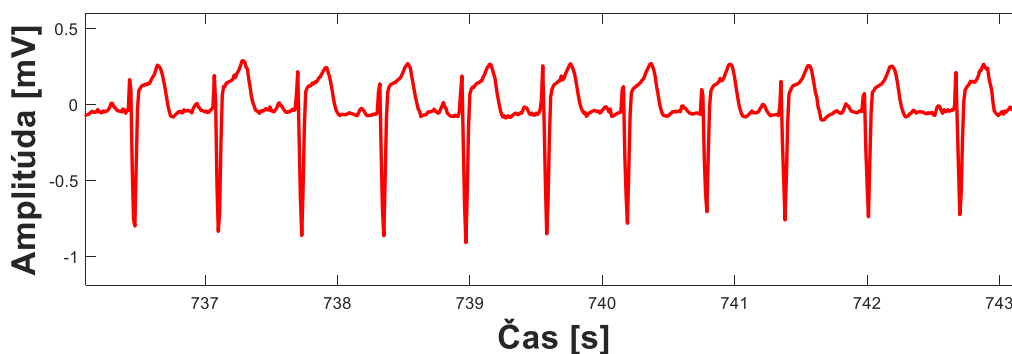
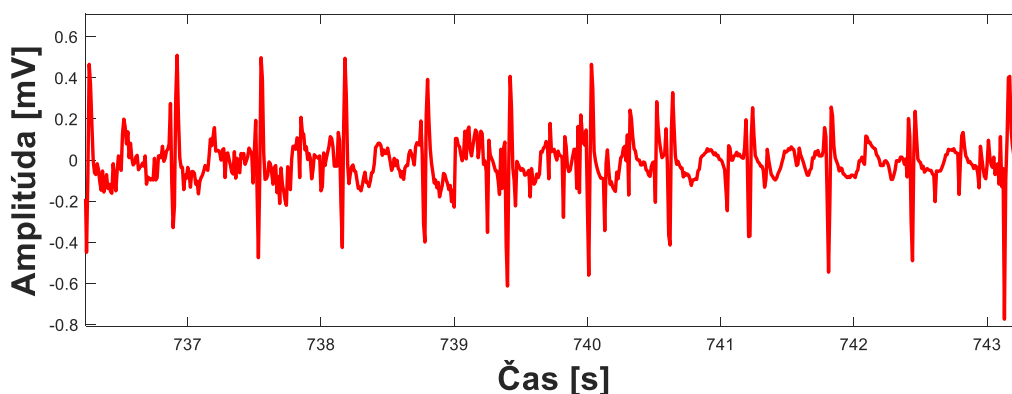
Pri tomto meraní boli použité na akvizíciu signálov obe vyššie spomenuté zariadenia. Pomocou zariadenia Bitalino boli namerané záznamy EKG a EDA, a podobne EKG, EDA, EMG a záznam respirácie boli zaznamenané pomocou systému BiosignalsPlux. Pri oboch systémoch boli elektródy rozmiestnené podľa navrhnutého protokolu uvedeného vo 4. kapitole. Všetky signály boli vzorkované jednotnou vzorkovacou frekvenciou 100 Hz, nastavené v softvéri OpenSignals.

Na obrázku 5.2 môžeme vidieť pravidelný pokojný stav svalov, čo znamená, že figurant stál dlhšiu dobu na semafore, alebo dodržiaval pravidlá a dával prednosť iným automobily pri vychádzaní na hlavnú cestu z vedľajšej cesty. Podľa týchto krátkych úsekov, kedy svaly nevykazujú žiadnu aktivitu, boli extrahované úseky záznamu odpovedajúce rovnakému času zo záznamu EKG, dĺžky približne sedem sekúnd, kedy bol figurant v bezstresovej situácii a z obrázka 5.1 je pozorovateľných jedenásť QRS komplexov, ktorým predchádza P vlna a T vlna sa nachádza bezprostredne za každou depolarizáciou komôr. Podľa iného úseku záznamu EMG, kde je rovnako nepozorovateľná kontrakcia svalov, bol vybraný úsek zo záznamu respirácie, viditeľný na obrázku 5.4. Na obrázku 5.3 sa nachádza záznam EDA z celej jazdnej skúšky.

5.1.1 Výsledky prvej jazdy

- Záznam EKG

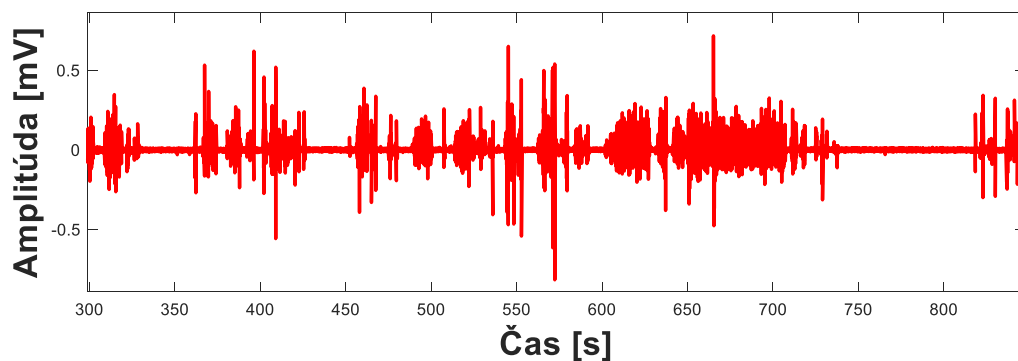
Na záznamoch EKG sú viditeľné rozdiely. EKG záznam uskutočnený pomocou BioSignalsPlux(obrázok 5.1 nižšie) poskytuje čistú krivku, bez výchyliiek izolínie a bez šumu. Pozorovateľné sú QRS komplexy, ktorým predchádza R vlna a za nimi nasleduje T vlna. Pri umiestňovaní elektród pravdepodobne došlo k zámene, čo sa prejavilo na grafe v podobe otočenej polarity, čiže všetky depolarizácie predsiení a komôr a takisto aj repolarizácie majú opačnú polaritu. Na zázname poskytovaného z Bitalina(obrázok 5.1 vyššie) je viditeľný šum a výkyvy izolínie. Toto znehodnotenie signálu mohlo byť zapríčinené zlým nalepením elektród, prípadne rušením okolitých elektronických zariadení. Pri palubnom meraní bolo zistené, že ak sa nachádzajú systémy Bitalino a BiosignalsPlux blízko pri sebe, dochádza k rušeniu signálu na zázname z Bitalina. Tento fakt môže byť ďalším dôvodom získaného nekvalitného signálu počas testovacej jazdy, kedy boli zariadenia uložené v krátkej vzdialenosti od seba. Zo signálu je viditeľný QRS komplex, naopak R a T vlny sú vďaka šumu nepozorovateľné. Pri porovnaní začiatku prvej R vlny z oboch záznamov je zreteľný posun vlny na prvom zázname približne 0.4667 sekundy.



Obr. 5.1: Záznam EKG pomocou Bitalina(vyššie), záznam EKG pomocou BioSignalsPlux(nižšie) – prvá jazda(mesto).

- Záznam EMG

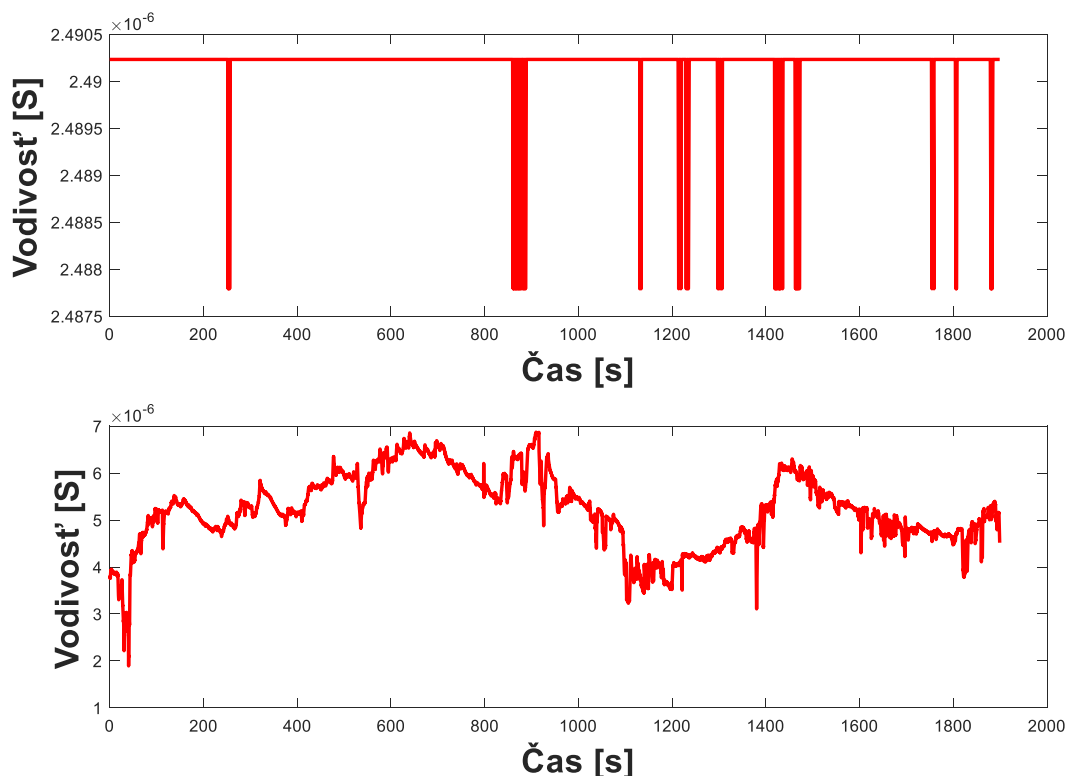
Signál EMG poskytuje kvalitný záznam aktivity svalov figuranta počas jazdy, kde je možné vidieť pravidelnú kontrakciu svalstva, kedy figurant začal buď brzdenie alebo zrýchlenie automobilu prudkým stlačením pedálov pomocou pravej nohy. Kontrakcia svalov nebola uskutočnená napríklad v rozmedzí sekúnd 330-360, 425-450 a 740-815. Znamená to, že figurant nevykonával žiadnu činnosť, pravdepodobne automobil stál na mieste. Počas jazdy bolo snímané EMG len pomocou BioSignalsPlux, takže porovnanie dvoch systémov nie je možné.



Obr. 5.2: Záznam EMG pomocou BioSignalsPlux – prvá jazda(mesto).

- Záznam EDA

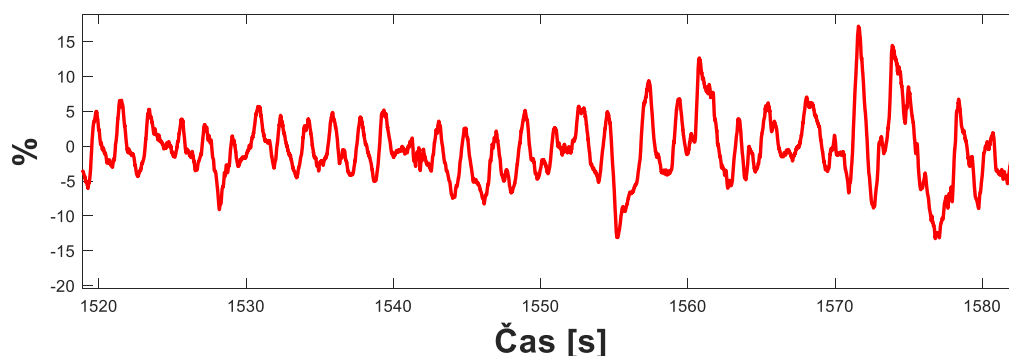
Ako je vidieť z prvého obrázka, Bitalino vôbec nezachytilo počas jazdy žiadnu ektodermálnu aktivitu, preto tento záznam považujeme za bezvýznamný. Dôvod tejto chyby nebol zistený. Kvalitný záznam EDA poskytuje BioSignalsPlux, ktorý môžeme vidieť na nižšie uvedenom obrázku. V zázname je uvedený celý priebeh merania, čiže od jeho začatia až po jeho ukončenie. Podľa obrázka môžeme sledovať, že merná vodivosť kože sa u figuranta počas celého merania značne menila. Najvyššie hodnoty dosiahla približne v 642 a v 921 sekunde a to v oboch prípadoch približne $6.87 \mu\text{S}$.



Obr. 5.3: Poškodený záznam EDA pomocou Bitalina(vyššie), kvalitný záznam EDA pomocou BioSignalsPlux(nižšie) – prvá jazda(mesto).

- Záznam respirácie

Graf uvedený nižšie poskytuje približne minútový záznam respirácie figuranta počas jeho pokojového stavu, kedy automobil nebol uvedený do pohybu. Podľa záznamu je vidieť, že napriek tomu, že figurant nebol vystavený stresovej situácii, tak došlo k podstatným výchylkám počas dýchania. Tieto výchylky mohli byť spôsobené pohybmi hrude, pohybmi rúk a napokon aj samotným rozprávaním figuranta. Tento záznam sa dá považovať za kvalitný, avšak nie je možné ho porovnať s iným záznamom nameraným Bitalinom, keďže sada Bitalino neobsahuje senzor na meranie respirácie. Ak by aj tento senzor Bitalino obsahovalo, pravdepodobne by nebolo možné merať respiráciu súčasne pomocou oboch zariadení, systémy by sa navzájom rušili.



Obr. 5.4: Záznam respirácie pomocou BioSignalsPlux – prvá jazda(mesto).

5.2 Druhá jazda

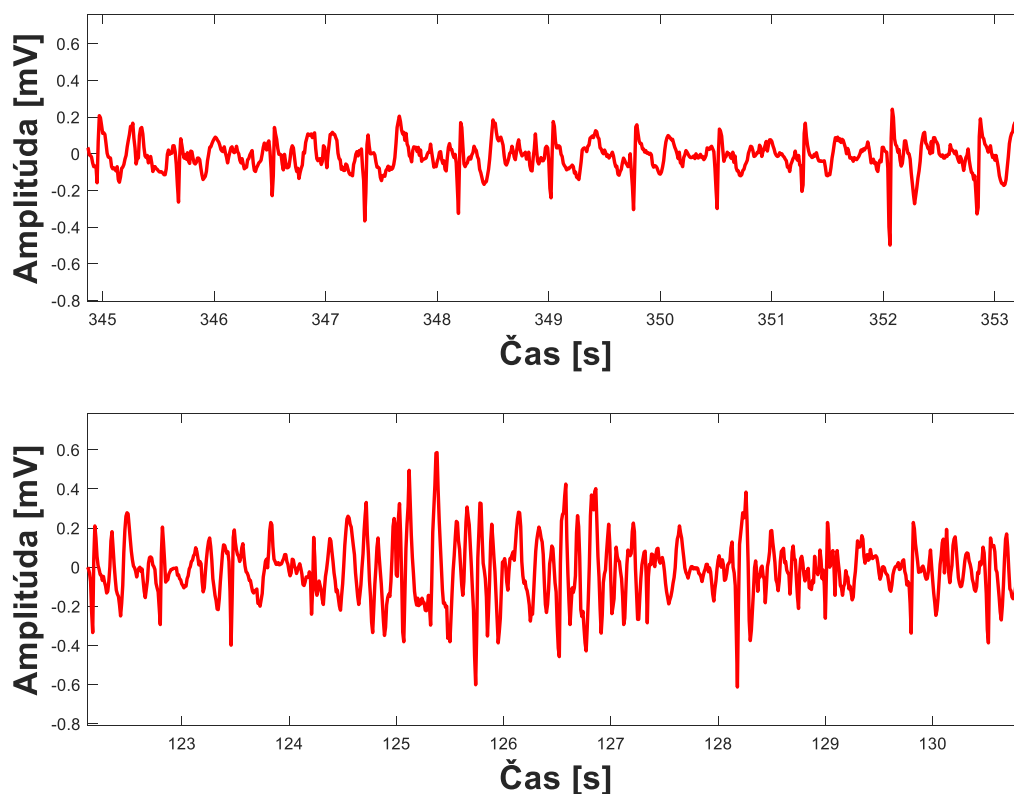
Druhá jazda na osobnom automobile značky Mercedes bola uskutočnená 14.4.2019 v poobedňajších hodinách o 16:00. Celé meranie trvalo približne 10 minút a jazda bola začatá aj ukončená počas slnečného počasia. Figurant a pozorovateľ vyrazili z parkovacieho miesta na odpočívadle na diaľnici pri Púchove a pokračovali smerom do Trenčína, kde bola prvá etapa merania pozastavená. Druhá etapa bola začatá počas prechodu Buchlovskými vrchmi. Premávka bola počas celého merania pokojná a pasažieri neuviazli v žiadnej zápche. Figurant dodržiaval všetky podmienky protokolu aj pravidlá cestnej premávky.

Pri tomto meraní bol použitý na akvizíciu signálov len systém Bitalino. Pomocou zariadenia boli namerané záznamy EKG a EMG. Elektrody boli rozmiestnené podľa navrhnutého protokolu uvedeného vo 4. kapitole. Všetky signály boli vzorkované jednotnou vzorkovacou frekvenciou 100 Hz, nastavenej v softvéri OpenSignals.

5.2.1 Výsledky druhej jazdy

- Záznam EKG

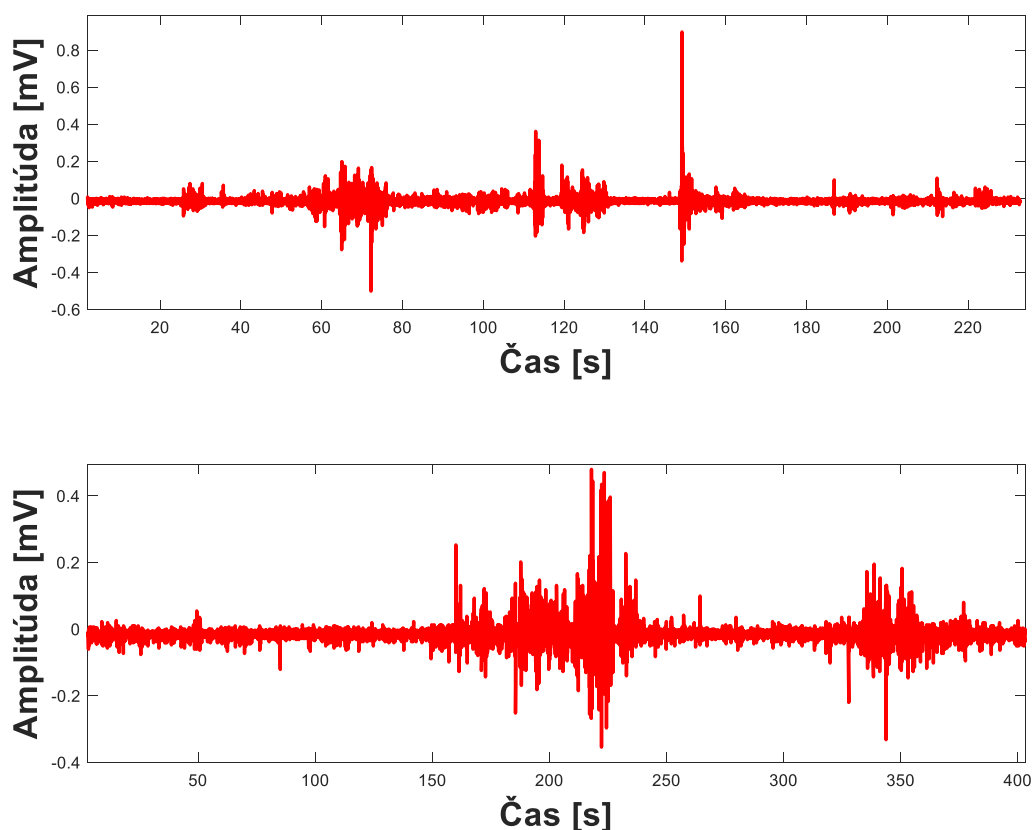
Záznam získaný pomocou Bitalina počas druhej jazdy, poukazuje na rovnaký problém aký sa vyskytol počas prvej jazdy. Veľký podiel šumu a výchylky izolácie postihujú aj tento záznam. Problematické je určenie vln R aj T, dokonca v tomto prípade je problematická aj detekcia QRS komplexu, najmä na zázname uvedenom nižšie. Krátky úsek bol extrahovaný z EKG signálu, ktorý bol nasnímaný počas konzistentnej jazdy figuranta po diaľnici a je znázornený na obrázku 5.5 vyššie. Úsek extrahovaný z EKG signálu nasnímaného počas jazdy na Buchlovských vrchoch je uvedený na obrázku 5.5 nižšie.



Obr. 5.5: Záznam EKG pomocou Bitalina na d'ialnici(vyššie), záznam EKG pomocou Bitalina v Buchlovských vrchoch(nižšie) – druhá jazda.

- Záznam EMG

Signál EMG poskytuje kvalitný záznam aktivity svalov figuranta počas jazdy, kde je možné vidieť pravidelnú kontrakciu svalstva, kedy figurant začal buď brzdenie alebo zrýchlenie automobilu prudkým stlačením pedálov pomocou pravej nohy. Záznam EMG vytvorený počas jazdy na d'ialnici poukazuje na slabšiu svalovú aktivitu, než je tomu na zázname nasnímanom na Buchlovských vrchoch. Znamená to, že figurant vykonával menšiu svalovú činnosť s pravou nohou na d'ialnici, čo sa dá odôvodniť tým, že na d'ialnici udržiaval figurant stálu konštantnú rýchlosť a len v nevyhnutných prípadoch buď mierne navýšil alebo znížil rýchlosť. Počas jazdy na Buchlovských vrchoch bol figurant nútený pravidelne prudko znižovať, alebo v opačnom prípade navyšovať rýchlosť pri obiehaní iných automobilov, čo sa značne prejavilo na zázname EMG uvedenom na obrázku 5.6 nižšie



Obr. 5.6: Záznam EMG pomocou Bitalina na d'ialnici(vyššie), záznam EMG pomocou Bitalina na Buchlovských vrchoch(nižšie) – druhá jazda.

5.3 Tretia jazda

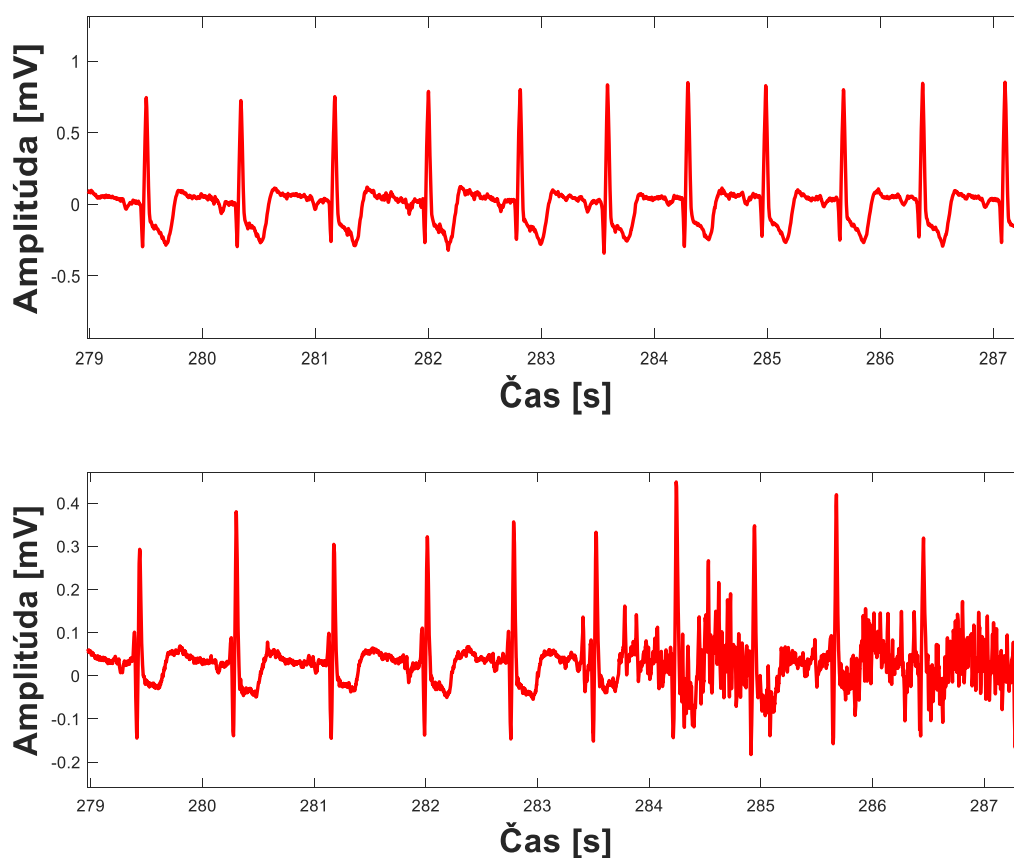
Tretia jazda na osobnom automobile značky BMW bola uskutočnená 25.4.2019 v podvečerných hodinách. Jazda trvala 16 minút a bola začatá aj ukončená počas slnečného počasia. Figurant a pozorovatelia vyrazili z parkovacieho miesta pri Ústave súdneho inžinierstva v Brne a pokračovali smerom do centra mesta. Premávka bola počas celého merania pokojná a pasažieri neuviazli v žiadnej zápche. Figurant dodržiaval všetky podmienky protokolu aj pravidlá cestnej premávky.

Pri tomto meraní boli použité na akvizíciu signálov dve zariadenia. Pomocou zariadenia BiosignalsPlux boli namerané záznamy EKG, EMG, EDA a respirácia, a podobne boli namerané signály pomocou zariadenia Though Technology, ktorý bol okomentovaný v druhej kapitole. Záznam EMG od Though Technology bol kvoli nesprávnemu umiestneniu elektród poškodený a preto v práci nebude uvedený. Elektródy boli rozmiestnenie podľa navrhnutého protokolu uvedeného vo 4. kapitole. Všetky signály u BioSignalsPlux boli vzorkované jednotnou vzorkovacou frekvenciou 1000 Hz, nastavené v softvéri OpenSignals, signály z Though Technology boli vzorkované frekvenciou 2048 Hz.

5.3.1 Výsledky tretej jazdy

- Záznam EKG

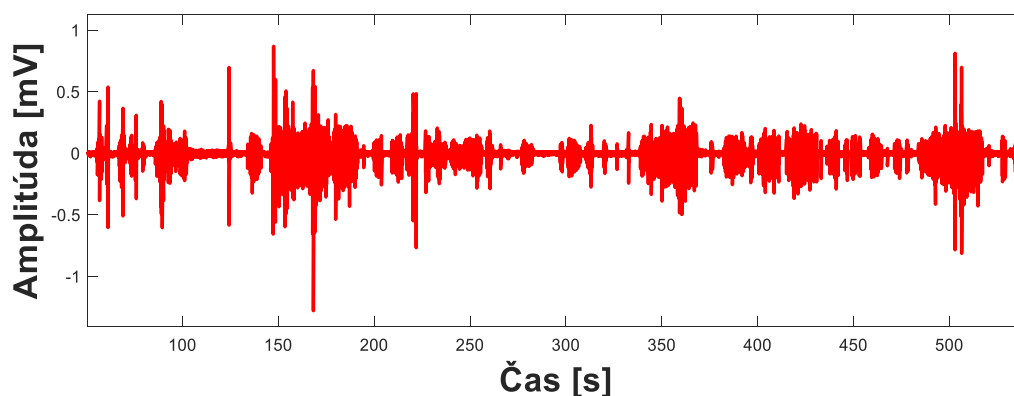
Nižšie uvedený záznam EKG poskytnutý BioSignalsPlux sa dá považovať za veľmi kvalitný. Pozorujeme na ňom pravidelnú srdečnú aktivitu v podobe QRS komplexov, ktorým vždy predchádza P vlna a po QRS pravidelne nasleduje T vlna. Všetky R a T vlny sú opačnej polarity, čo je následok zamenených elektród. Nasnímané signály zariadením Though Technology sú rovnako veľmi kvalitné. V zázname za šiestym QRS komplexom je viditeľný pohybový artefakt.



Obr 5.7: Záznam EKG pomocou BioSignalsPlux(vyššie), záznam EKG pomocou Thought Technology(nižšie) – tretia jazda.

- Záznam EMG

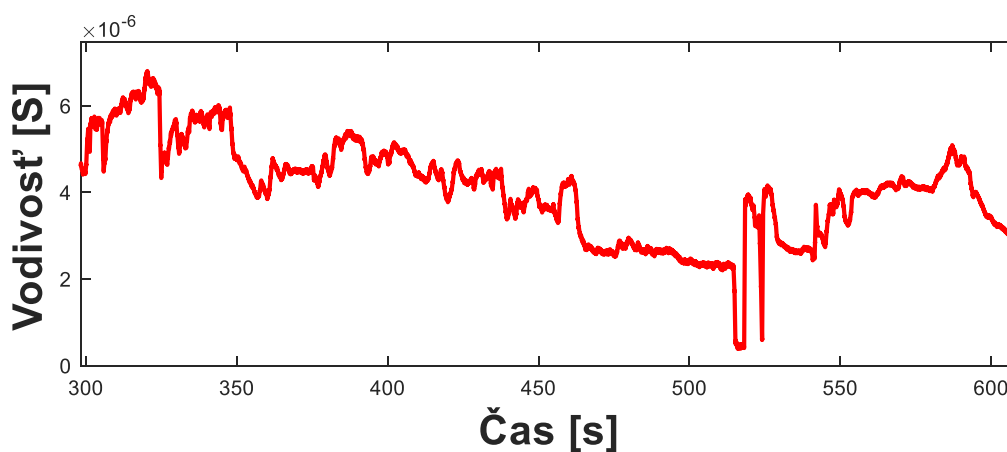
Na zázname EMG je zreteľná kontrakcia svalov v podobe zvýšenej amplitúdy. Ako bolo popísané v 5.1 podkapitole, na EMG je viditeľné navýšenie a pokles amplitúdy, čo znamená, že figurant pravidelne zvyšoval a znižoval rýchlosť automobilu.

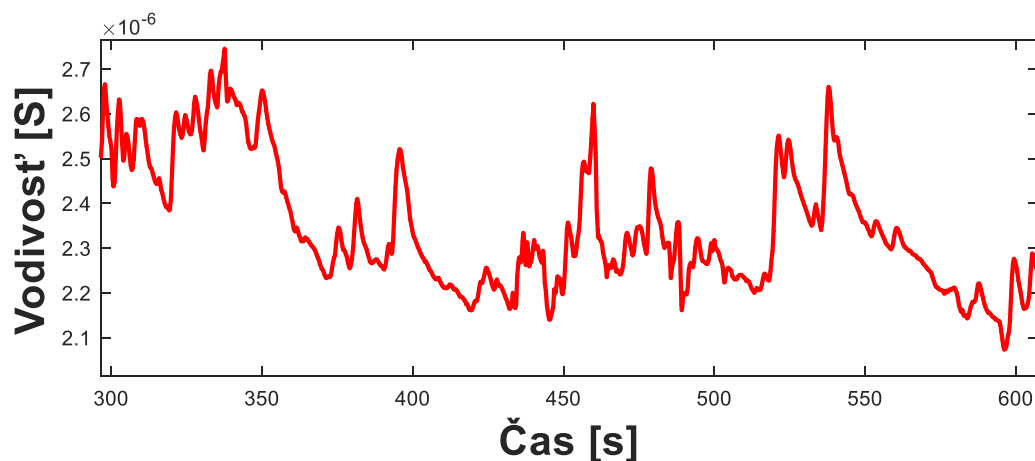


Obr. 5.8: Záznam EMG pomocou BioSignalsPlux – tretia jazda.

- Záznam EDA

Kvalitné záznamy EDA poskytujú BioSignalsPlux aj Though Technology, ktoré sú pozorovateľné na obrázku 5.9. Na oboch obrázkoch je uvedený 5 minútový priebeh merania. Podľa obrázka vyššie uvedenom môžeme sledovať, že ektodermálna aktivita sa u figuranta počas merania značne menila. Zo snímania kožnej vodivosti zariadením Though Technology sú pozorovateľné zmeny, ktoré odpovedajú približne ektodermálnej aktivite u BioSignalsPlux, ale v priemere s 20 sekundovým oneskorením.

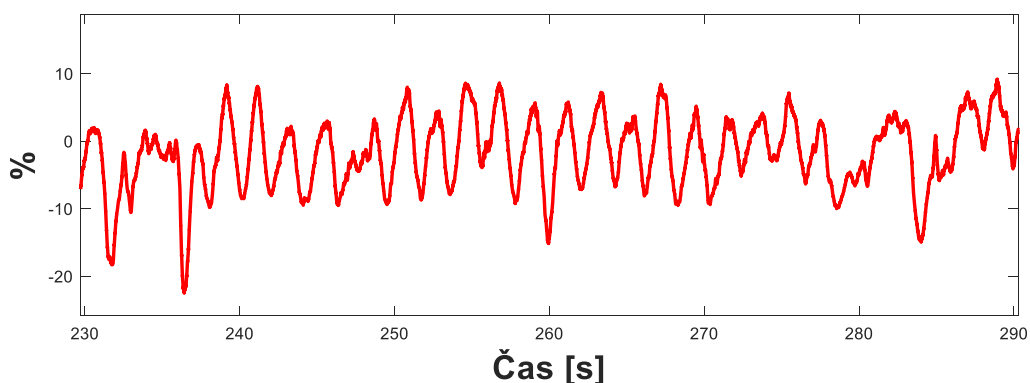


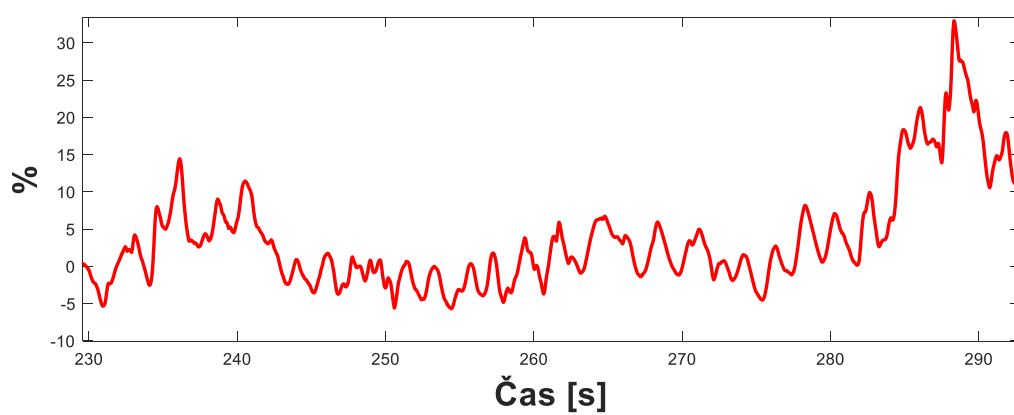


Obr. 5.9: Záznam EDA pomocou BioSignalsPlux(vyššie), záznam EDA pomocou Thought Technology(nižšie) – tretia jazda.

- Záznam respirácie

Nižšie uvedený záznam poskytuje približne minútový záznam respirácie. Na prvý pohľad je vidieť, že frekvencia dýchania bola podstatne zvýšená, z toho sa dá usúdiť, že figurant nebol v pokojnom stave. Počas snímania došlo k podstatným výchylkám v dýchaní. Tieto výchylky mohli byť spôsobené pohybmi hrude, pohybmi rúk a napokon aj samotným rozprávaním figuranta. Tento záznam sa dá považovať za kvalitný, avšak pri porovnaní záznamov nasnímaných dvomi rozdielnymi zariadeniami sú viditeľné rozdiely. Tieto rozdiely boli pravdepodobne spôsobené vzájomným dotykom a prekryvaním sa dvoch respiračných pásov.





*Obr. 5.10: Záznam respirácie pomocou BioSignalsPlux(vyššie), záznam respirácie pomocou
Though Technology(nižšie) – tretia jazda.*

6 VÝSLEDKY MERANIA

Na vyhodnotenie získaných dát testovacích jazdných skúšok, ktoré boli okomentované v 5. kapitole je potrebná znalosť spracovania signálov rôzneho typu a možnosti pokročilejšieho spracovania pre budúci výskum. V nasledujúcich podkapitolách je podrobne objasnené ako prebieha spracovanie a analýza pre každý biosignál, ktorý bol nasnímaný tromi rôznymi systémami, a zobrazený v 3. a v 5. kapitole. Samotné spracovanie a vykreslenie signálov prebiehalo v programovacom prostredí Matlab.

6.1 Spracovanie a vyhodnotenie signálu EKG

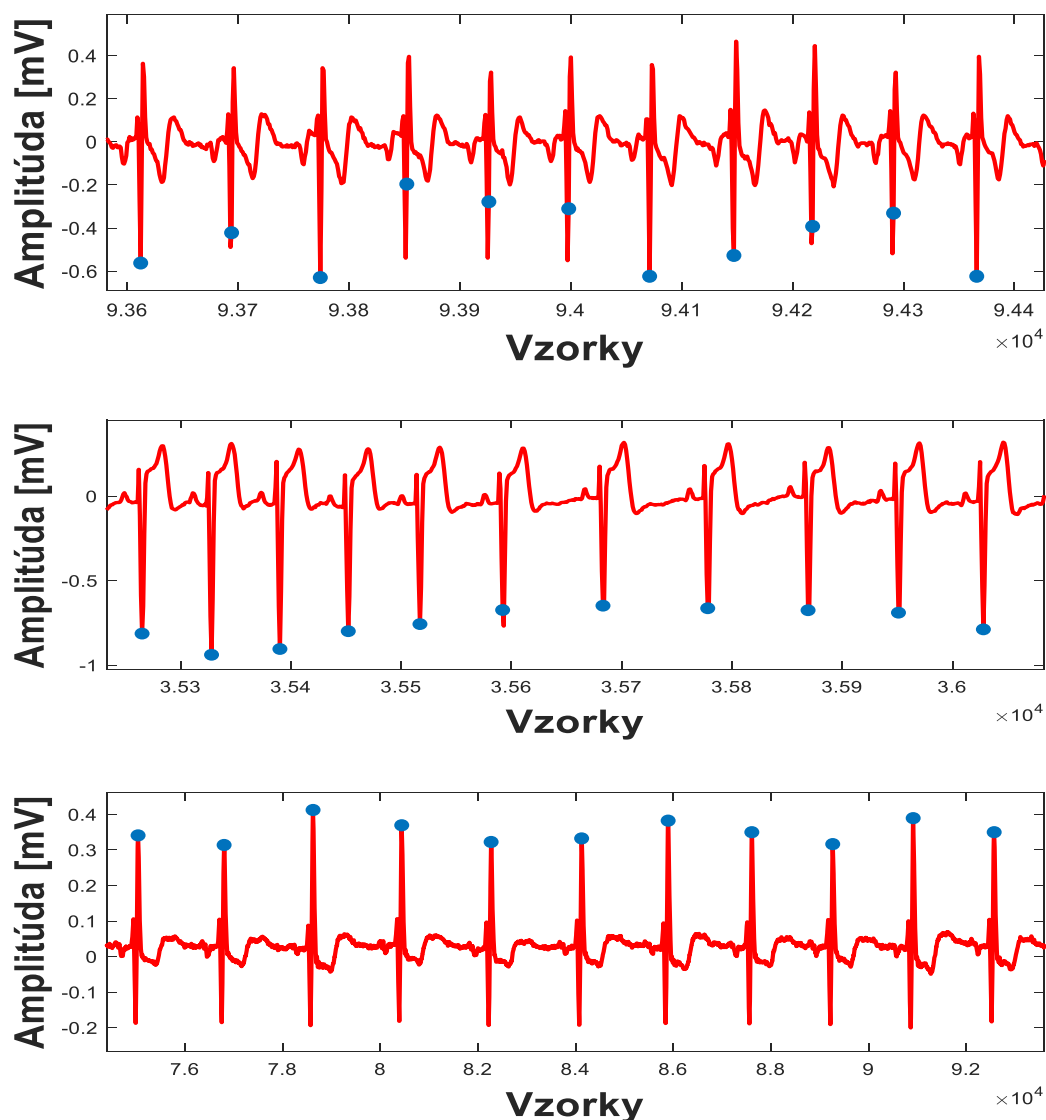
Spracovanie a vyhodnotenie EKG signálu spočíva v detekcii QRS komplexu, presnejšie detekcii R vln, vďaka ktorým vieme posúdiť spoľahlivosť a relevanciu nameraného signálu EKG, akvizičnými systémami. Detekcia QRS komplexu bola obsahom cvičenia predmetu Analýza biologických signálov (AABS) a vyhotovený detektor na cvičení, ktorý je priblížený nižšie, bol aplikovaný na signály získane pri testovacej jazde.

Nameraný signál v podobe vzoriek je nutné upraviť pomocou prenosovej funkcie, aby bol signál správne uvedený v jednotkách mV(miliVolty). Túto prenosovú funkciu je nutné použiť pri spracovaní každého signálu v závislosti od použitého akvizičného systému a snímaného signálu. Príklad prenosovej funkcie pre EKG signál získaný zariadením Bitalino je uvedený v rovnici (1).

Signál je nutné predspracovať pásmovou priepustou v hodnotách 10 Hz a 20 Hz pre zvýraznenie QRS komplexu a potlačenie ostatných zložiek signálu, vrátane rušenia. Následne je signál upravený pomocou Hilbertovej transformácie a jeho absolútna hodnota je umocnená na druhú. Touto úpravou je možné získať obálku signálu, ale pre detekciu R vln v signále bola použitá funkcia findpeaks, ktorá pri vhodnom prahovaní našla pozície R vln v každom QRS komplexe a pomocou funkcie scatter boli body vykreslené v grafoch, čo je viditeľné na snímkach 6.1. V každom snímku je výrazne rozpoznateľný QRS komplex. Najpresnejšia detekcia R vln bola dosiahnutá v signále nadobudnutom z Thought Technology, u ktorého bolo umiestnenie elektród pravdepodobne najdokonalejšie, vzhľadom k správnej polarite vln. Detekcia u Bitalina a BioSignalsPlux dosiahla o niečo menšiu presnosť, čo bolo zrejme spôsobené zachytením vedľajšieho vzorku pri detekcii. Pri bližšej analýze nadetekovaných vln bolo zistené, že priamka vedúca cez vykreslenú pozíciu hrotu vlny R, kolmej k ose x, prechádza hrotom vlny R a napriek vyznačenému bodu v inej časti vlny než je hrot R vlny je táto detekcia správna.

Tieto systémy poskytujú kvalitné záznamy elektrickej srdčnej aktivity a vďaka výrazným QRS komplexom nasnímaných z každého zariadenia je možné vykonať ďalšie analýzy, ako je analýza tepovej frekvencie alebo analýza variability srdčného rytmu(HRV) v časovej, vo frekvenčnej alebo časovo – frekvenčnej oblasti [14]. K docieleniu podrobnejšej analýzy EKG signálu, ktorou môže byť detekcia extrasystol, analýza neskorých potenciálov alebo analýza alternácie vlny T, je potrebné vykonať ďalšiu úpravu a filtráciu signálu, čo nie je obsahom tejto práce.

Na relevantnosť záznamu majú rozhodujúci vplyv charakter, veľkosť a rozmiestnenie elektród. Chybné rozmiestnenie elektród významne ovplyvňuje celý záznam. V sade od BioSignalsPlux sú elektródy neoznačené a spojovacie káble sú krátke, preto k ich zámene môže dôjsť, a to spôsobí, že sa pozitívna výchylka zmení na negatívnu a naopak.



Obr. 6.1: Záznamy s detekovanými R vlnami pomocou Bitalina(hore), pomocou BioSignalsPlux(vstred) a pomocou Though Technology(dole).

6.2 Spracovanie a vyhodnotenie signálu EMG

Záznam EMG vzniká ako dôsledok depolarizácie a repolarizácie membrány svalových buniek, ktorý sa nachádza na obrázkoch 5.2, 5.6 a 5.8. Na vyhodnotenie EMG signálu bola navrhnutá obálka signálu, obdobným spôsobom ako u signálu EKG, v podkapitole 6.1.

V prvom kroku bol signál upravený podľa prenosovej funkcie, špeciálne vyvinutej zvlášť pre každé zariadenie. V ďalšom kroku bola na signál aplikovaná Hilbertová transformácia (HT). Absolútne hodnoty HT a absolútne hodnoty HT vynásobené -1, boli spolu s pôvodným signálom vykreslené. Vynásobenie absolútnych hodnôt HT -1, bolo uskutočnené kvôli vykresleniu obálky signálu aj v jeho záporných hodnotách. Obálka signálu, ktorá je vykreslená na obrázku 6.2., bola vytvorená pomerne s veľkou presnosťou a vďaka nej je signál pripravený na ďalšie analýzy.

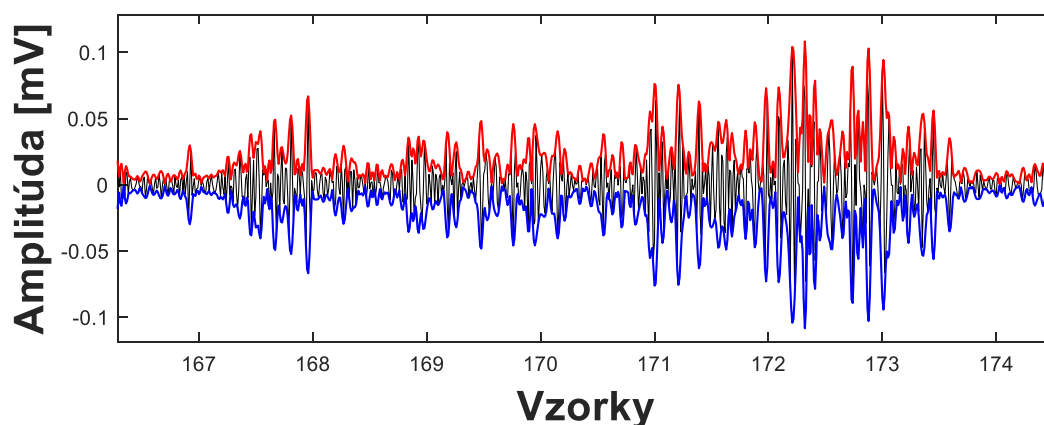
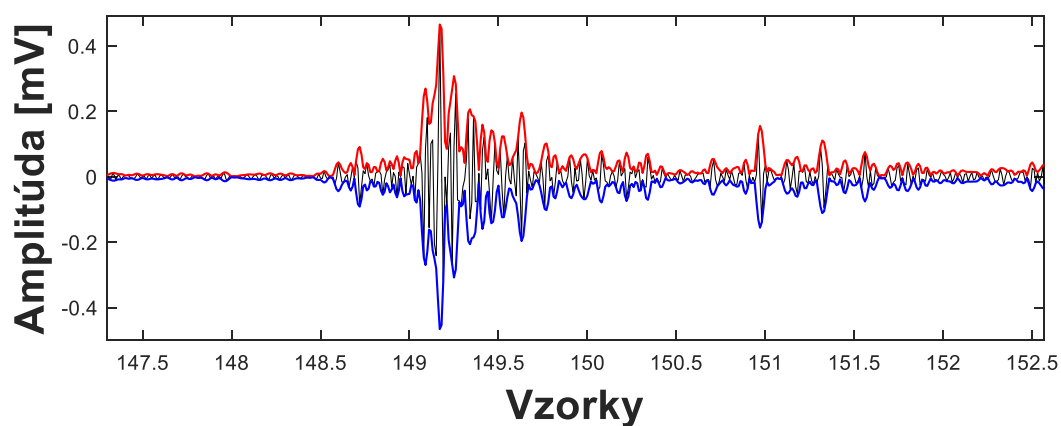
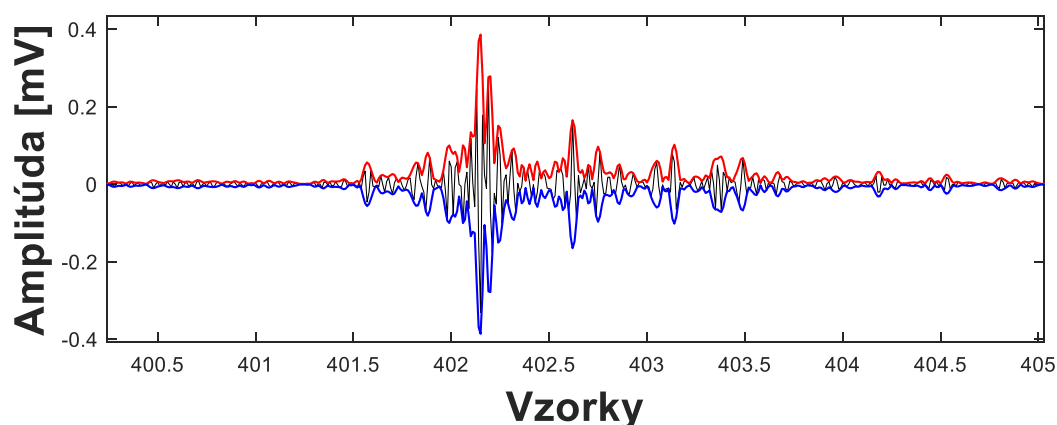
Z obrázkov vykreslených nižšie je možné vidieť kontrakciu a relaxáciu svalstva figuranta. Na prvom a druhom obrázku je znázornená obálka signálu EMG, kde na začiatku je viditeľný časový interval, kedy sval nebol aktivovaný, figurant nevykonával žiadnu činnosť, nohu mal v pokoji. Následne je viditeľná kontrakcia svalstva, takzvaný sťah, ktorá má pomerne rýchly nástup a pomerne za krátky čas dosahuje niekoľko desiatin milivolta. Po každej kontrakcii svalu nasleduje jeho relaxácia, ktorá sa v zázname prejaví poklesom amplitúdy do záporných hodnôt. Tento jav sa v zázname prejavil, takže nasnímaný EMG signál sa potvrdil ako bipolárny. Extrahovaný úsek EMG signálu, na ktorý bola aplikovaná obálka signálu, presne odpovedá dobe, kedy figurant z počiatku nevykonával žiadnu činnosť nohou, následne došlo k sťahu svalov, vplyvom stlačenia pedálu a nakoniec sval znova relaxoval.

Zo signálu vykreslenom na poslednom obrázku je vidieť, že svaly boli pravidelne kontrahované, takže je pozorovateľná neustála aktivita svalstva. Tento úsek bol vybraný z EMG signálu nasnímaného počas testovacej jazdy Buchlovskými vrchmi, kde bol figurant nútený k pravidelnej kontrakcii svalstva, v podobe stláčania pedálov.

Zariadenia Bitalino a BioSignalsPlux poskytujú veľmi podobné záznamy signálov EMG, ktoré sú vhodné pre ďalšie spracovanie, ktorým je napríklad analýza zmeny úrovne signálu EMG vplyvom námahy alebo metabolickej únavy, využiteľné pri meraní svalovej aktivity a pri riadení protéz, alebo analýze zmeny spektier pri svalovej únave. Podobne je možné využiť tieto zariadenia aj na biofeedback, kedy je snímané povrchové EMG a vo vhodnej forme prezentované pacientovi, ktorý je schopný ovplyvniť vôľou namerané hodnoty a naučiť sa ich ovládať. V článku „A wearable device for EMG auditory biofeedback“ sa diskutuje aj o konverzii bioelektrického signálu na zvukový signál a jeho využitie ako biofeedback [15], ktorý by v kombinácii s týmito zariadeniami mohol vytvoriť malý kompaktný systém. Z obálky signálu je ďalším spracovaním možné zistiť energiu

sťahu, alebo získať hodnotu napätia medzi maximálnou kontrakciou a maximálnou relaxáciou svalu.

Tieto záznamy sú značne ovplyvnené pohybovými artefaktami a nestabilitou spojenia elektródy a kože. Pre jednoznačnejšie posúdenie rozdielov medzi týmito dvoma zariadeniami je nutné použiť ihlové elektródy, ktoré snímajú aktivitu z menšieho počtu motorických jednotiek ako je tomu u povrchovej EMG, žiaľ tieto elektródy nie sú súčasťou sady. Podobne by sa na pokožku mohla umiestniť stimulačná elektróda a posudzovať by sa funkčný stav nervov a nervosvalové spojenie a pozoroval by sa zariadeniami získaný signál.



Obr. 6.2: Obálka signálu EMG nasnímaného pomocou Bitalina(prvý a posledný) a pomocou BioSignalsPlux(vstrede).

6.3 Spracovanie a vyhodnotenie signálu EDA

Spracovanie záznamu EDA prebehlo veľmi jednoducho. Poprvé, opäť prebehla transformácia signálu pomocou prenosovej funkcie podľa daného zariadenia. Podruhé, z dvoch signálov, ktoré boli merané súčasne, bol extrahovaný rovnaký úsek 5 minút. Následne boli nadetekované pozície maxima a minima z daného úseku signálu, pomocou funkcie max a min, ktoré boli vykreslené v signále funkciou scatter.

Prepokladom bolo, že úseky signálov vyčlenené zo záznamov, ktoré boli merané súčasne, budú vo väčšej miere zhodné. Pri porovnaní oboch obrázkov 6.3 sa zistilo, že snímaná kožná vodivosť sa skoro vôbec nezhoduje. Na obrázku 3.3 je záznam EDA súčasne zaznamenaný pomocou Bitalina a BioSignalsPlux, ktorý je v značnej miere podobný. Z toho je možné usúdiť, že tieto zariadenia poskytujú skoro rovnako kvalitné záznamy. To isté bolo očakávané pri testovacej jazde, kde signály boli snímané systémami BioSignalsPlux a Though Technology. Zistilo sa, že nadetekované maximum a minimum sa vyskytuje v signáloch z oboch zariadení v rozdielnych častiach signálu. Väčší zmysel pri hodnotení signálu EDA by mohlo mať hodnotenie trendov v signály, napríklad či v danom úseku je klesajúci, alebo stúpajúci, poprípade akú ma smernicu, atď [12].

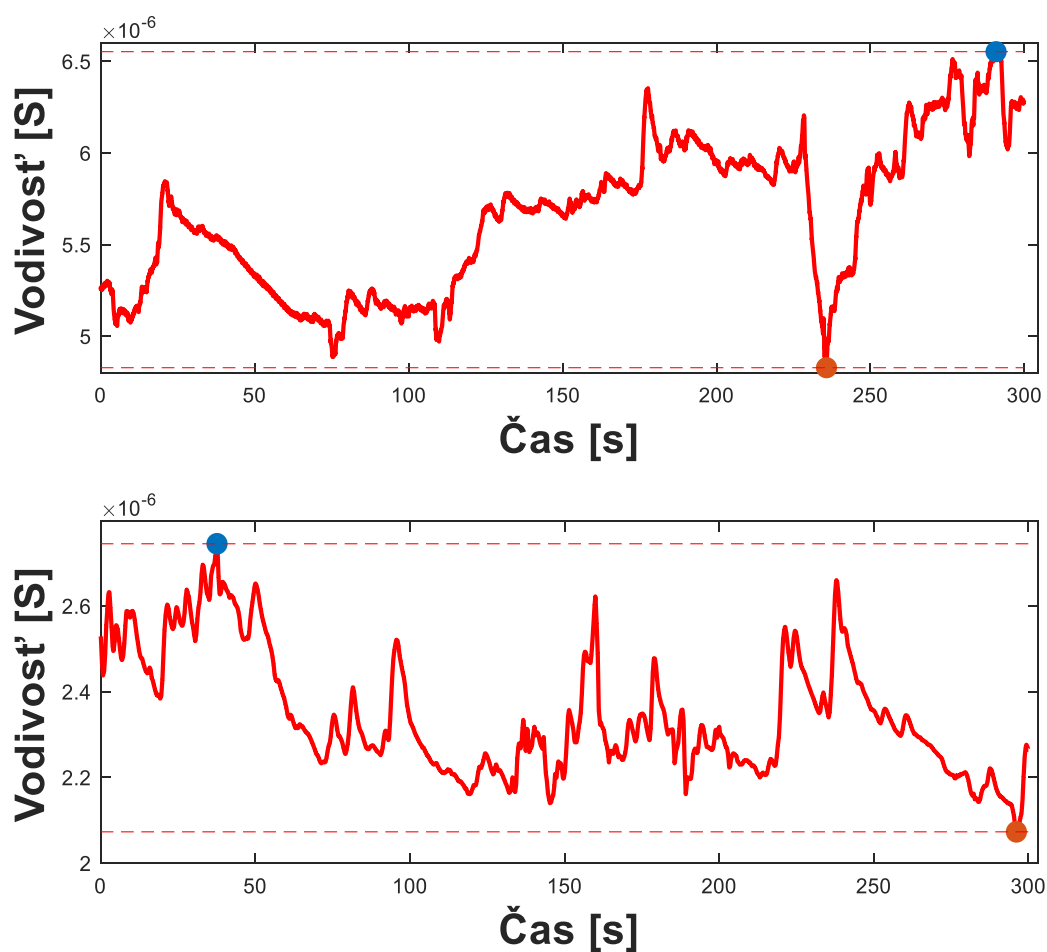
Podľa jednotlivých úsekov signálu z BioSignalsPlux, ktoré odpovedajú časovému intervalu, kedy figurant nevykonával činnosť vedenia automobilu, ale čakal na semafore, poprípade stál na parkovisku, alebo podľa úsekov, kedy bol figurant nútený venovať väčšiu pozornosť riadeniu automobilu z dôvodu predbiehania iných motorových vozidiel, bolo zistené, že nárast a pokles kožnej vodivosti primerane odpovedá psychickému rozpoloženiu figuranta. Pre presnejšiu identifikáciu nárastu a poklesu kožnej vodivosti pre ďalší výskum je nutné implementovanie kamier, ktoré snímajú činnosť vodiča a zároveň aj okolie automobilu.

Pri bližšej vizuálnej analýze sa skúmalo, či krátke úseky v podobe 1 minúty sa u oboch zariadení v niečom zhodujú. Záverom je, že systémy poskytujú skoro neidentické záznamy kožnej vodivosti. Pre objektívnejšie posúdenie záznamu od Though Technology, by bolo nutné uskutočniť palubné meranie, počas ktorého by bol porovnávaný získaný signál zo všetkých troch zariadení – Bitalino, BioSignalsPlux aj Though Technology. Bohužiaľ, nebolo to uskutočnené.

Na základe získaných poznatkov o meraní kožnej vodivosti a následného snímania signálov, nie je možné jednoznačne určiť, či signály poskytnuté zariadením Though Technology sú relevantné.

Významnosť signálov EDA poskytnutých zariadeniami Bitalino a BioSignalsPlux bola potvrdená už v palubnom meraní, v podkapitole 3.1.

Záznam EDA sa v poslednej dobe prejavilo ako veľmi spoľahlivý ukazovateľ stresového levelu u vodiča. Výsledky v článku „Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors“ poukazujú nato, že metriky srdcovej frekvencie a vodivosti kože poskytujú najvyššie celkové korelácie so súvislou úrovňou stresu vodiča [16]. Podobná skutočnosť, že EDA je kvalitným ukazovateľom stresu, je zhodnotené v [12].



Obr. 6.3: Záznam EDA s nadetekovanou hodnotou minima a maxima, pomocou BioSignalsPlux(hore) a pomocou Though Technology(dole).

6.4 Spracovanie a vyhodnotenie záznamu respirácie

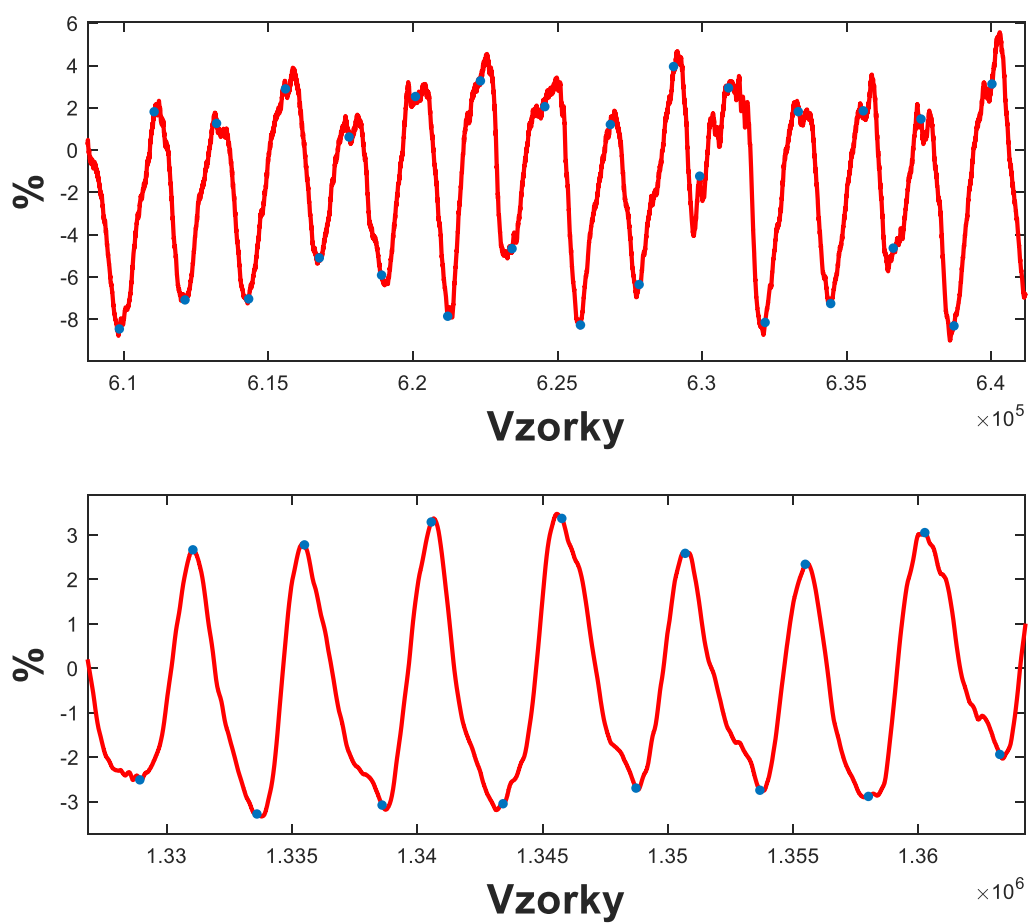
Spracovanie záznamu respirácie prebiehalo nasledovne. Signál, upravený pomocou vhodnej prenosovej funkcie, bol filtrovaný dolnou priepustou na 0.5 Hz. V ďalšej časti bola urobená prvá diferenciacia a boli nájdené inflexné body pomocou porovnania s hodnotou 0.001. Táto hodnota bola podľa potreby upravená pre signál z Thought Technology na 0.01. Problém je v tom, že v tomto intervale sa môže nachádzať viac vzoriek. Tento problém rieši prvý cyklus for, ktorý očistí opakujúce sa časti idúce po sebe. V druhom cykle for sa zisťuje, či dané nájdené body sú aspoň 750 ms od seba.

Z dvoch záznamov respirácie, ktoré boli merané súčasne boli extrahované 30 sekundové úseky. Dôležité je podotknúť, že na prvom zázname obrázka 6.4, kde je vykreslený záznam poskytnutý BioSignalsPlux, je abnormálne zvýšená dychová frekvencia, pričom úsek odpovedá časovému intervalu, kedy figurant stál na parkovisku. Príčina tejto zvýšenej frekvencie dýchania nebola určená. Zároveň je z tohto záznamu možné sledovať výchyľky, najmä pri inspiráciách. K týmto výchyľkám mohlo dôjsť vplyvom pohybov rúk. Tento fakt, že pohyby rúk majú vplyv na záznam respirácie bol prekázaný v palubnom meraní (obr. 3.5).

Pri detekovaní hrotu pri inspiráciách a hrotu pri expirácii sa docielilo pomerne veľkej presnosti, najmä u záznamu z Thought Technology, v ktorom sú viditeľné čisté nástupy a poklesy v dýchaní. Nedokonalú detekciu je vidieť v zázname z BioSignalsPlux, v ktorom bol zásadný problém v detekovaní maximálnych hodnôt pri inspiráciách, z dôvodu, ktorý bol vysvetlený vyššie. Docielenie dokonalejšieho nadetkovania je reálne v prípade ďalších meraní a precíznejšieho algoritmu, ktorý nebol obsahom práce. Maximálne hodnoty pri expiráciách boli detekované s väčšou presnosťou.

Tieto záznamy sú vhodné na ďalšie spracovanie a analýzu, najmä pre zistenie dychovej frekvencie, rýchlosti a strmosti nábehu a poklesu u inspirácie a expirácie. Podobne by bolo možné z týchto záznamov získať hodnoty pľúcnych objemov.

Zo získaných informácií, poskytnutých z [9], [17] a z testovacích jazd je možné konštatovať, že obe zariadenia poskytujú kvalitné záznamy respirácie, avšak BioSignalsPlux má ešte malé nedokonalosti, ktoré je potrebné odstrániť. Záznam respirácie snímanej pomocou Bitalina sa dá taktiež považovať za veľmi kvalitný, aj keď meranie bolo uskutočnené len v palubnom meraní.



Obr. 6.4: Záznam respirácie s nadetekovanými maximálnymi a minimálnymi hodnotami pomocou BioSignalsPlux(hore), pomocou Thought Technology(dole).

7 DISKUSIA

V predchádzajúcej kapitole boli vyhodnotené nasnímané signály tromi rôznymi akvizíčnými systémami. Všetky tri zariadenia, ktorými sú Bitalino, BioSignalsPlux a Thought Technology poskytujú pomerne kvalitné a spoľahlivé záznamy, ovšem u každého sa nájdu chyby a obmedzenia, ktoré sú predmetom hodnotenia v tejto kapitole.

Bitalino je zariadenie, ktoré poskytuje snímanie biosignálov v reálnom čase. Toto zariadenie vďaka svojim malým, vreckovým rozmerom umožňuje akvizíciu dát pri rôznej činnosti človeka a dátový prenos pomocou Bluetooth, túto možnosť ešte viac podporuje. Zariadenie je nielenže malých rozmerov, ale zároveň je aj veľmi ľahké, takže dlhodobé snímanie nie je záťažou pre merajúceho. Práca s týmto zariadením je intuitívna a veľmi jednoduchá. Systém takmer okamžite reaguje pri spustení merania. Keďže Bitalino je otvorená elektronická stavebnica, môže veľmi jednoducho dôjsť k jeho poškodeniu pri neopatrznej manipulácii. Ďalšou nevýhodou je, že zakúpená sada neobsahovala respiračný pás, ktorý by bol vhodný pre komplexné porovnanie záznamu respirácie u všetkých troch zariadení. Pri prvej testovacej jazde došlo z neobjasnených príčin k poškodeniu záznamu pri meraní EDA pomocou tohoto systému. Pri opätovnom meraní už k podobnej chybe nedošlo. Podobne pri meraní iných veličín takáto porucha nebola nikdy zistená, z čoho sa dá posúdiť, že systém je pomerne spoľahlivý. Na obrázku 6.1(hore) a 6.2(hore) sú znázornené spracované záznamy srdčnej a svalovej aktivity, ktoré sú veľmi kvalitné. Tento systém poskytuje skoro plnohodnotné záznamy a vďaka jeho malej konštrukcii, nasnímanými kvalitnými signálmi a nízkej nákupnej cene(170€) je vhodný pre ďalšie výskumy a merania na vodičovi [18].

BioSignalsPlux pri všetkých meraniach, či palubnom meraní, alebo pri testovacej jazde poskytol kvalitné a odpovedajúce záznamy. Detekcia R vln, ktorá je zaznamenaná na obrázku 6.1(vstrede) a dosahuje vysokej presnosti, poukazuje nato, že systém umožňuje hodnotný odpovedajúci záznam elektrickej aktivity srdca. Obálka signálu elektrickej svalovej aktivity, obr. 6.2(vstrede), umožňuje ďalšie analýzy a pokročilejšie spracovanie daného signálu. Záznam ektodermálnej aktivity aj respirácie sa u tohoto zariadenia podobne prejavil ako významný. Ani pri jednom meraní nebola zaznamenaná žiadna chyba alebo poškodenie záznamu. Z tohto dôvodu je tento systém oproti Bitalinu o niečo spoľahlivejší. Podrobnejšieho vyhodnotenia by bolo docielené pri opätovných testovacích jazdách, kedy by bolo možné posúdiť výsledky z viacerých záznamov. Nákupná cena tohoto zariadenia začína približne na 500€, pri nákupe len samotného 4- kanálového zariadenia bez káblov, elektród a ďalšieho vybavenia a končí približne na 3800€ pri nákupe celej sady [18], ktorá bola použitá na naše účely. Napriek vyššej cene je systém BioSignalsPlux kvalitnejším a spoľahlivejším zariadením pre akvizíciu dát u vodiča počas jazdy.

Posledným zariadením, ktoré poskytuje záznam elektrofyziologických veličín je Thought Technology. Kvoli reklamácií zariadenia nebolo vykonané palubné meranie, takže zhodnotenie signálov v kludových podmienkach probanda nebolo umožnené. Pri zavedení systému do prevádzky boli zistené ďalšie nedostatky zariadenia, a preto bola umožnená len jedna testovacia jazda. V šiestej kapitole je zhodnotená kvalita spracovaných signálov poskytnutých týmto zariadením, z čoho EMG záznam bol poškodený a záznam EDA vôbec neodpovedal záznamu EDA z BioSignalsPlux. V kapitole 3 bolo objasnené, že záznamy EDA, meraných na zápästiach, súčasne pomocou Bitalina a BioSignalsPlux si sú v značnej miere podobné, čo bolo očakávané aj pri súčasnom snímaní EDA pomocou BioSignalsPlux a Thought Technology. Tento predpoklad bol ale v podkapitole 6.3 vyvrátený. Kvoli týmto faktom je možné zhodnotenie len záznamu EKG a respirácie, pričom obidve záznamy sú kvalitné bez šumu, bez abnormálnych odchýliek, a na obrázku 6.1(dole) a 6.4(dole) sú zobrazené správne nadetekované hľadané hodnoty, takže záznamy sú vhodné pre ďalšiu analýzu. Cena tohto zariadenia nie je jasná, odhaduje sa na niekoľkonásobok ceny BioSignalsPlux. Účelom obstarania tohoto zariadenia bola vzájomná synchronizácia dát so systémom D-Lab v automobile BMW, ktorá ale do odovzdania práce nebola dostatočne doladená.

ZÁVER

Bakalárska práca sa zaoberá porovnaním troch akvizičných systémov, ktorými sú Bitalino, BioSignalsPlux a Thought Technology. Všetky tieto systémy sú predurčené na snímanie elektrofyziologických veličín, ako sú EKG, EMG, EDA, respirácia, elektroencefalografia, elektrookulografia, elektrogastrogafia, atď. Pre naše účely boli vybrané prvé štyri veličiny.

Obsahom tretej kapitoly je vyhodnotenie palubného merania, ktoré sa uskutočnilo na probandke vo veku 21 rokov. Toto meranie prebiehalo v dvoch etapách. V prvej sa merali signály za kludových podmienok probandky a následne bol u probandky navodený stres, kvoli zisteniu relevantnosti záznamu EDA. Všetky nasnímané signály zariadeniami Bitalino a BioSignalsPlux boli v dobrej kvalite, čo bolo dobrým predpokladom pre ďalšie merania.

V ďalšom kroku boli uskutočnené tri testovacie jazdy, ktorým predchádzalo vypracovanie ich protokolu. Pre tieto jazdy boli vybraní dvaja figuranti a dve osobné automobily. Prvá jazda bola uskutočnená osobným automobilom BMW, ktorý je prispôsobený na tieto merania a použité akvizičné systémy boli Bitalino a BioSignalsPlux. Jazda bola realizovaná v meste Brno v poobedňajších hodinách. Podobné podmienky boli dodržané u tretej jazdy, kde akvizičnými systémami boli BioSignalsPlux a Thought Technology. Druhá jazda bola vykonaná iným figurantom na osobnom automobile Mercedes a táto jazda prebiehala v dvoch etapách a to na diaľnici a na Buchlovských vrchoch. Pre meranie bol využitý len systém Bitalino. Meranie s týmito zariadeniami bolo veľmi jednoduché a intuitívne.

Pri vyhodnocovaní testovacích jazd bolo zistené, že systémy Bitalino a Thought Technology vykazujú malé nedostatky. Systém Bitalino zaznamenal nehodnotný záznam EDA počas celej prvej testovacej jazdy. Z toho dôvodu bolo porovnanie tohoto záznamu so záznamom vytvoreným BioSignalsPlux za zmarený. Pri opakovaných testoch tohoto senzoru nedochádzalo k podobnej chybe. Systém Thought Technology vykazoval iný záznam EDA než záznam poskytnutý zariadením BioSignalsPlux pri tretej jazde, ako bolo okomentované v kapitole 7.

Pri spracovávaní získaných signálov bolo zistené, že všetky zariadenia poskytujú pomerne kvalitné záznamy elektrofyziologických veličín, ktoré vykazujú vysokú relevantnosť pre ďalšie merania a analýzy. V každom zázname boli nadetekované tie hodnoty, ktoré sú významné pre daný signál. Z čoho sa dá usúdiť dôveryhodnosť a spoľahlivosť daných systémov. Všetky systémy sú spoľahlivé a poskytujú výstupné signály s kvalitným rozlíšením. Veľkou výhodou sú rozmery a hmotnosť akvizičného systému Bitalino a kompaktnosť zariadenia BioSignalsPlux. Systém Thought Technology svojimi väčšími rozmerami a pomerne mohutnou meracou jednotkou vykazuje sťažené

podmienky na rôznorodé merania, než je tomu u predchádzajúcich dvoch zariadení, ktoré môžu byť použité na meranie v rôznom čase a pri rôznej aktivite merajúceho.

Literatúra

- [1] THALER, Malcolm S. *The only EKG book you'll ever need*. 7th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, c2012. ISBN isbn978-1-4511-1905-3.
- [2] HABERL, Ralph. *EKG do kapsy*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4192-5.
- [3] Weiss, Jay M., Lyn D. Weiss a Julie K. Silver. *Easy EMG: A Guide to Performing Nerve Conduction Studies and Electromyography*, 2nd ed. London, New York, Oxford, Philadelphia, St. Louis, Sydney, Toronto: ELSEVIER, 2016. ISBN 978-0-323-28664-0.
- [4] CACIOPPO, John T, Louis G TASSINARY a Gary G BERNTSON, ed. *Handbook of psychophysiology*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, c2000. ISBN 0-521-62634-X.
- [5] HERTENSTEIN, Matthew J., Sandra J. Weiss. *The handbook of touch: Neuroscience, Behavioral, and Health Perspectives*. 1st ed. United States of America: Hamilton Printing, 2011. ISBN 978-0-8261-2191-2.
- [6] Chaspari, Theodora & Tsiartas, Andreas & Stein Duker, Leah & Cermak, Sharon & S Narayanan, Shri. (2014). Sparse Representation of Electrodermal Activity With Knowledge-Driven Dictionaries. *IEEE transactions on bio-medical engineering*. 62. 10.1109/TBME.2014.2376960. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/269416229_Sparse_Representation_of_Electrodermal_Activity_With_Knowledge-Driven_Dictionaries
- [7] GUERREIRO, José, Hugo Placido da Silva, Andre Lourenc,o, Ana Fred and Raul Martins. BITalino: A Novel Hardware Framework for Physiological Computing. 1049-001, [online], [cit. 26.12.2018], Lisboa, Portugal. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/1b3f/45a9afeaa195b5b16b7dbff090a336acbe63.pdf>
- [8] Biosignals Flux, 1050-059 Lisbon | PORTUGAL, [online], [cit. 27.12.2018], Dostupné z: <https://www.biosignalsflux.com/en/learn/documentation>
- [9] Thought Technology Ltd., [cit. 27.12.2018], Dostupné z: <https://thoughttechnology.com/index.php/hardware.html>
- [10] BioRadio, [online], [cit. 30.12.2019], Dostupné z: <https://glneurotech.com/bioradio/bioradio-wireless-physiological-monitor/>
- [11] Alves, Ana Priscila & Plácido da Silva, Hugo & Lourenco, Andre & Fred, Ana. (2012). A Biosignal Acquisition Platform based on Arduino and Android.. 2012, [cit. 30.12.2018], Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/236131120_A_Biosignal_Acquisition_Platform_based_on_Arduino_and_Android
- [12] Neska El Haouij. Biosignals for driver's stress level assessment : functional variable selection and fractal characterization. Applications [stat.AP]. Université

- Paris-Saclay; École nationale d'ingénieurs de Tunis (Tunisie), 2018. English. <NNT : 2018SACLS191>. <tel-01866951>
- [13] Bitalino, [online], [cit. 8.5.2019], Dostupné z : <https://bitalino.com/en/learn/documentation>
 - [14] Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. (Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology). *European Heart Journal* (1996) 17, pp. 354-381
 - [15] Y. Tsubouchi and K. Suzuki, "BioTones: A wearable device for EMG auditory biofeedback," *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, Buenos Aires, 2010, pp. 6543-6546. doi: 10.1109/IEMBS.2010.5627097
 - [16] HEALEY, J.A. a R.W. PICARD. Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2005, 6(2), 156-166. DOI: 10.1109/TITS.2005.848368. ISSN 1524-9050.
 - [17] Thought Technology Ltd, Science Division, Products, [online], [cit. 10.5.2019], Dostupné z: <http://www.thoughttechnology.com/sciencedivision/product.html>
 - [18] PLUX Wireless Biosignals S.A., [online], Dostupné na: <https://plux.info/>

ZOZNAM PRÍLOH

- 1 CD médium – Bakalárska práca v elektronickej podobe.